

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

COMMERCE INTERNATIONAL ET HAVRES DE POLLUTION

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN ÉCONOMIQUE

PAR

FRANÇOIS LESSARD

NOVEMBRE 2013

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je remercie vivement mon directeur de mémoire, M. Kristian Behrens, titulaire de la chaire de recherche du Canada sur les impacts régionaux de la mondialisation, pour son apport à ce mémoire, ainsi que pour la patience dont il a fait preuve envers son auteur à travers toutes les péripéties de cette aventure.

Le soutien financier qui a permis la réalisation du mémoire est provenu de plusieurs sources. Je suis d'abord redevable à Kristian Behrens d'une bourse de deux ans, octroyée à même ses fonds de recherche, lesquels proviennent du FQRSC et du CRSH . D'autre part, j'ai eu des contrats d'assistance d'enseignement au Département des sciences économiques. Aussi, le professeur Pierre Lasserre m'a donné une assistance de recherche. Finalement, j'ai été aidé par ma famille. J'en suis très reconnaissant.

De nombreuses personnes m'ont donné un coup de main au moment où j'avais besoin d'une explication ou d'un coup de main. Ce sont des professeurs du département, des collègues étudiants gradués, des amis. Je les en remercie tous.

Finalement, je dois un gros merci à mes parents et amis, qui m'ont soutenu tout au long du trajet, et qui m'ont facilité les choses pendant la rédaction du mémoire. Je dois ici des remerciements particuliers à mon fils Adrien, pour son expertise en informatique et pour son soutien logistique, ainsi qu'à ma fille Béatrice, pour son enthousiasme et son énergie.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	v
RÉSUMÉ	vi
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I	
REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	3
1.1 Croissance économique et environnement : la courbe de Kuznets.....	3
1.2 Croissance, commerce et environnement : cadre théorique.....	3
1.3 Havres de pollution.....	5
1.4 Libéralisation du commerce	6
1.5 Politique environnementale rigide ou flexible.....	7
1.6 Commerce Nord-Sud.....	8
1.7 Libéralisation du commerce et pollution : études empiriques	10
1.8 Interaction stratégique entre juridictions dans la détermination des politiques	14
1.9 Modèles de flux commerciaux et détection d'un EHP	16
CHAPITRE II	
LE MODÈLE	18
2.1 Modèle de base, commerce international	18
2.2 Modèle avec données de commerce désagrégées par secteur manufacturier	21
2.3 Proxy du laxisme de la réglementation environnementale	22
2.4 Formulation empirique du proxy du LRE.....	27
2.5 Insertion du proxy dans le modèle de commerce	28
2.6 Identification de l'impact sectoriel du LRE.....	29
2.7 Signe des élasticités du proxy du LRE	30
CHAPITRE III	
LES DONNÉES.....	32
3.1 Données de commerce et de gravité	32

3.2	Données de commerce désagrégées par secteur	32
3.3	Données d'émissions de SO ₂	34
3.4	Données de production d'électricité et autres	35
CHAPITRE IV		
	RÉSULTATS	38
4.1	Modèle de base	39
4.2	Modèle avec exportations désagrégées par secteur manufacturier	41
4.3	Modèle HMR désagrégé avec proxy du LRE	43
4.4	LRE et effet de havre de pollution.....	48
4.4.1	Interactions entre le LRE et les effets fixes de secteur	54
4.4.2	Interactions : LRE vs intensité énergétique et mobilité.....	58
4.4.3	Discussion générale des résultats	60
CONCLUSION.....		63
APPENDICE A		
TABLEAUX SUPPLÉMENTAIRES		65
BIBLIOGRAPHIE		70

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
2.1	Signes attendus des coefficients du proxy 31
3.1	Données de commerce, de gravité et de relations coloniales 33
3.2	Données de production d'électricité et autres (WDI) 35
3.3	Statistiques sommaires des variables du modèle 37
4.1	Modèle agrégé, HMR2010 vs DSK/CES 40
4.2	Modèles avec/sans désagrégation sectorielle des exportations..... 42
4.3	Modèle désagrégé : spécification du proxy du LRE..... 45
4.4	Modèles HMR et DSK avec LRE, avec et sans interactions 51
4.5	Coefficients bêta, pays d'origine ou de destination, du plus grand au plus petit 55
4.6	HMR et DSK : Interaction avec l'intensité énergétique et la mobilité 59
A.1	Secteurs manufacturiers à 3 chiffres de la CITI, révision 2 65
A.2	Pays du panel, par continent 67
A.3	Intensité énergétique et mobilité des secteurs 69

RÉSUMÉ

L'adoption aux États-Unis et ailleurs de lois environnementales strictes a créé une inquiétude : les industries manufacturières allaient-elles déménager dans des pays aux lois moins rigoureuses pour minimiser leurs coûts de contrôle de la pollution? En particulier, allait-il se produire dans les pays en voie de développement un nivellement par le bas de la rigueur environnementale dû à la compétition pour attirer les industries? Ce phénomène, appelé effet de havre de pollution (EHP), a suscité une abondante littérature économique. Dans ce mémoire, nous avons modifié un modèle de commerce international développé par Head, Mayer et Ries (2010) pour voir s'il était possible de détecter un tel effet dans les exportations sectorielles d'un panel de 165 pays, avec 26 secteurs manufacturiers de la CITI révision 2, entre 1980 à 2006. Pour ce faire, nous avons ajouté au modèle un proxy du laxisme de la réglementation environnementale inspiré de celui de Xing et Kolstad (2002). Les résultats obtenus ne sont pas les mêmes pour les pays d'origine et les pays de destination, sauf pour le secteur des métaux non ferreux qui a l'EHP le plus fort de tous. Autrement, les secteurs EHP sont le bois, le papier et le pétrole pour les pays d'origine, et la chimie, le pétrole, l'alimentation et le fer/acier pour les pays de destination. Au vu de ces résultats, nous croyons que la spécification du proxy devra être revue.

INTRODUCTION

Depuis quelques décennies, les médias nous ont fait prendre conscience du fait que le problème de la pollution dépasse les cadres nationaux, parce que les émissions polluantes ne tiennent pas compte des frontières. Le premier exemple qui vient à l'esprit est celui des gaz à effet de serre (GES), mais il y a 20 ou 30 ans, on parlait beaucoup du SO_2 atmosphérique (pluies acides). Les polluants atmosphériques ne sont pas les seuls à passer les frontières; ceux qui sont en solution dans l'eau le font aussi, par les mers, les lacs et les cours d'eau, de même que par les nappes phréatiques.

La croissance économique et le commerce international influencent le niveau de la production ainsi que sa localisation. Cette dernière résultera de la spécialisation qui provient de l'avantage comparé. Les entreprises choisiront ainsi les lieux de production et le mélange de biens produits en fonction des marchés auxquels ils font face. La production de ces biens étant plus ou moins polluante, selon le cas, ceci détermine le lieu et l'intensité des émissions polluantes. D'autre part, la réglementation environnementale peut affecter la localisation des entreprises et les flux du commerce international, et donc changer la répartition spatiale des sources d'émissions polluantes. Pour attirer les entreprises, les gouvernements offrent divers incitatifs, qui peuvent être des dépenses publiques (y compris les subventions), des avantages fiscaux, mais aussi des normes moins contraignantes tant au point de vue de l'environnement que du travail, de la propriété intellectuelle, etc. Si les accords de commerce international en place limitent ou empêchent les deux premiers types d'incitatifs, les gouvernements peuvent compenser par exemple en affaiblissant la rigueur de la réglementation environnementale, ou tout simplement son application. Dans ce sens, les différents types d'incitatifs sont jusqu'à un certain point des substituts, et en viennent à former des ensembles (*packages*) destinés à attirer les entreprises de tel ou tel secteur. La question particulière qui nous intéresse ici est la crainte que la compétition entre juridictions voisines n'engendre un nivellement par le bas de la réglementation environnementale, notamment dans les pays en voie de développement,

qui pourraient devenir ce qu'on a appelé des havres de pollution. À l'inverse, la politique environnementale peut aussi servir de barrière non-tarifaire pour contourner les accords de l'OMC. Les barrières non-tarifaires sont de plus en plus utilisées à cette fin par les pays membres. Pour ce qui est des havres de pollution, il est crucial, dans le cadre de l'élaboration des politiques commerciales et environnementales, de savoir si un tel effet existe, s'il est mesurable et de quelle grandeur il est.

C'est dans ce cadre que se situe le présent mémoire. Nous avons pris comme point de départ un modèle de commerce international conçu par Head, Mayer et Ries (2010) pour étudier l'impact sur le commerce entre métropoles et colonies des événements d'indépendance. Nous l'avons modifié pour pouvoir modéliser les exportations de 26 secteurs manufacturiers de la CITI, révision 2 de chaque pays d'origine. Nous avons ajouté, parmi les variables explicatives des exportations du pays i au pays j , un proxy¹ pour le laxisme de la réglementation environnementale de chacun des deux pays. Notre panel comprend environ 200 pays² commerçant en paires ordonnées pendant 27 années (1980-2006), dans 26 secteurs industriels.

Dans ce qui suit, nous ferons d'abord une revue de la littérature suscitée par la question des havres de pollution. En deuxième partie, nous présenterons le modèle que nous avons utilisé. En troisième partie, nous décrirons nos données. Les résultats seront donnés et analysés en quatrième partie, puis nous concluerons.

¹ L'Office de la langue française suggère l'emploi de « variable de substitution » ou de « variable substitutive » au lieu « proxy ». Étant donné que « proxy » apparaît près de cent fois dans ce document, nous le conserverons cependant, à des fins de concision.

² Le nombre exact de pays dans chaque régression dépend du nombre d'observations manquantes avec sa spécification particulière : certains pays n'ayant que peu d'observations, il peut arriver que certains d'entre eux disparaissent de certaines régressions.

CHAPITRE I

REVUE DE LA LITTÉRATURE

1.1 Croissance économique et environnement : la courbe de Kuznets

La recherche sur le lien entre la pollution et la croissance économique s'est d'abord articulée autour de l'hypothèse de la courbe de Kuznets environnementale (CKE), qui établit un lien entre les émissions polluantes et le revenu per capita (RpC) dans les pays étudiés. Cette courbe, qui provient d'études empiriques, a d'abord une partie croissante dans laquelle la pollution augmente avec le RpC, puis une partie décroissante, alors qu'elle diminue avec celui-ci. La première partie de la courbe représente la situation des pays en voie de développement, et la deuxième, celle des pays développés.

Dans leur revue de littérature, Copeland et Taylor (2004) relèvent que dans les études empiriques, l'estimation de la CKE est très sensible au choix de l'échantillon : période, pays ou groupe de pays, type de pollution, etc. Les auteurs de ces études ont dû invoquer différents effets pour expliquer leurs résultats particuliers, sans que cela soit très concluant. Les auteurs soutiennent que la CKE n'étant pas fondée sur la théorie économique, il est difficile d'interpréter les résultats et de mettre à jour les mécanismes de causalité qui la sous-tendent. Ceci les a motivé à contribuer au développement d'un cadre théorique adéquat.

1.2 Croissance, commerce et environnement : cadre théorique

Ce cadre théorique est décrit dans Antweiler, Copeland et Taylor (2001), ainsi que dans Copeland et Taylor (2003, 2004). Il comprend deux biens : un bien « sale », dont la production est intensive en capital et s'accompagne d'émissions polluantes (le bien X), et un bien « propre » dont la production est intensive en travail et ne produit aucune pollution (le

bien Y). Il s'agit d'une petite économie ouverte où le prix des deux biens est déterminé sur le marché mondial. Les émissions polluantes qui accompagnent la production du bien sale sont considérées comme un intrant dans sa fonction de production au même titre que le capital et le travail. Cette formulation, habituelle en économie de l'environnement, permet d'obtenir une demande de pollution sous la forme d'une demande de facteur. L'offre est déterminée par un gouvernement qui peut intervenir de différentes façons pour réglementer la pollution. La solution du modèle donne un prix et une quantité d'équilibre des émissions polluantes. Le prix des émissions peut être vu comme celui d'un permis d'émettre une unité d'émissions polluantes, ou bien comme une taxe à la pollution.

La libéralisation du commerce international peut faire augmenter la production des pays impliqués, changer la proportion de biens polluants vs non-polluants dans leur production, et changer l'intensité polluante de leur production. Lorsque le niveau de la production d'un pays augmente sans que varie la proportion des facteurs de production utilisés, on parle d'un *effet d'échelle*. Lorsque la proportion des facteurs utilisés dans la production change sans que l'échelle ne change, on a un *effet de composition*. Quand la quantité d'émissions polluantes par unité produite change, on a un *effet technique*. Le modèle permet de séparer ces trois effets.

Le modèle est ainsi conçu que si l'on maintient l'intensité des émissions constante, il a les propriétés du modèle Heckscher-Ohlin de commerce international. En particulier, le théorème de Rybczynski s'applique : une augmentation de la dotation en capital fait augmenter la production du bien relativement intensif en capital (ici, X) et diminuer celle du bien relativement intensif en travail (Y). L'augmentation de la production de X survient à la fois grâce à un *effet de composition* (le rapport K/L augmente pour une échelle constante) et à un *effet d'échelle* (la taille de l'économie augmente pour un rapport K/L constant). Comme la production de X augmente, la pollution augmente aussi, puisque par définition, le bien polluant est celui qui est intensif en capital. Il n'y a pas d'effet technique, puisque dans ce cas, on maintient l'intensité des émissions constantes (i.e. le gouvernement laisse la politique environnementale inchangée). Une augmentation du capital peut provenir de la croissance économique du pays en question, ou encore d'un afflux de capitaux étrangers. Un tel afflux

pourrait aussi être provoqué par des normes environnementales peu contraignantes, si le pays est en effet un havre de pollution.

D'autre part, lorsque le revenu per capita des consommateurs d'un pays augmente, la demande de qualité environnementale augmente et si le gouvernement intervient en ajustant la politique environnementale pour refléter la demande des consommateurs, on a un *effet technique* : l'intensité polluante de la production diminue. Notons qu'on peut aussi avoir un effet technique par le biais d'un changement technologique qui n'est pas motivé par la politique environnementale, par exemple un changement destiné à améliorer l'efficacité énergétique de la production, si ce changement amène par ailleurs une réduction des émissions polluantes par unité produite.

Antweiler, Copeland et Taylor (2001) ont réussi à séparer empiriquement les effets de composition, d'échelle et technique dans leur étude de l'impact de l'ouverture au commerce international sur les concentrations de SO_2 dans l'air. Ils trouvent que l'effet de composition est très significatif mais relativement faible. Les effets d'échelle et technique de l'ouverture au commerce se manifestent par l'augmentation de l'activité économique et du revenu per capita qu'elle amène. Ils estiment que l'effet d'échelle d'une augmentation de 1% de l'activité économique fait augmenter la concentration des émissions polluantes de 0,25 à 0,5% pour le pays moyen de leur échantillon, mais que l'effet technique qui l'accompagne la fait diminuer de 1,25 à 1,5%. Net, une augmentation de 1% de l'activité économique ferait donc *diminuer* la pollution d'environ 1%³. Puisque l'ouverture au commerce fait augmenter l'activité économique, il s'ensuit qu'elle serait bonne pour l'environnement. *A priori*, on ne s'attend pas à un tel résultat.

1.3 Havres de pollution

Nous avons vu qu'une motivation importante des études sur le lien entre la libéralisation du commerce et la politique environnementale est la crainte que la rigueur ou le laxisme de la réglementation environnementale ne deviennent des facteurs de localisation des entreprises polluantes. Cette crainte a donné lieu à trois hypothèses. Dans la plus extrême,

³ Voir Antweiler, Copeland et Taylor (2001) p. 878.

l'*hypothèse* des havres de pollution, l'effet du laxisme de la réglementation environnementale est si fort qu'il devient un avantage comparé qui amène les industries polluantes à quitter les pays industrialisés pour aller s'établir dans les pays en voie de développement. Dans sa forme modérée, appelée *effet* de havre de pollution, le laxisme de la réglementation n'est qu'un facteur de localisation parmi d'autres qui ensemble, déterminent les flux commerciaux ou la localisation des usines. À l'autre extrémité du spectre, des chercheurs tels que Grossman et Krueger (1993) ont basé leur étude sur l'hypothèse que la direction des flux commerciaux des biens polluants est déterminée par les causes habituelles, i.e. l'avantage comparé, les dotations factorielles, les rendements d'échelle croissants, etc., et que l'effet de havre de pollution est minime. Copeland et Taylor appellent cette hypothèse celle des *dotations factorielles*, mais mentionnent du même souffle qu'ils ne veulent pas dire que seules les dotations factorielles comptent, ni même qu'elles sont prépondérantes dans la réalité. Cette terminologie laisse évidemment à désirer. L'importance relative des facteurs qui déterminent ou modulent le commerce est une question empirique. De toute façon, question de langage, il faut savoir que dans la littérature, les dénominations *hypothèse* des havres de pollution et *effet* de havres de pollution ne sont pas utilisées de façon stricte.

1.4 Libéralisation du commerce

L'introduction d'un coefficient de frictions au commerce de type « iceberg » dans le modèle permet d'étudier l'impact de la libéralisation du commerce. Cette dernière est modélisée par une réduction du coefficient de frictions. Avant de parler de politique environnementale, voyons quel est l'impact de la libéralisation sur le niveau de pollution des pays impliqués.

L'impact de la libéralisation varie selon que les pays concernés sont *a priori* des importateurs ou des exportateurs de biens sales. Si un pays est un importateur du bien sale, la libéralisation du commerce fait baisser le prix domestique de ce bien, ce qui provoque une contraction du secteur de son économie qui le produit et une expansion du secteur qui produit le bien propre. L'effet de composition fait alors diminuer la pollution. Par contre, si un pays est un exportateur du bien sale, la libéralisation du commerce fait augmenter le prix domestique du bien sale, ce qui amène une expansion du secteur qui le produit et une

contraction du secteur qui produit le bien propre; la pollution augmente. Dans les deux cas, la libéralisation fait augmenter l'efficacité économique de la production, donc augmenter la production, pour une dotation donnée; on a donc un effet d'échelle positif. Pour le pays importateur, l'effet de composition et l'effet d'échelle vont en sens contraire, mais puisqu'on reste sur la même frontière de possibilités de production, l'effet de composition domine et la pollution diminue. Pour le pays exportateur, les deux effets s'additionnent et l'augmentation de la pollution est plus importante. Ce qu'il importe de voir ici, c'est que l'impact de la libéralisation dépend de l'avantage comparé du pays : s'il a un avantage dans la production du bien propre, la pollution diminue, et vice-versa.

1.5 Politique environnementale rigide ou flexible

Il est important de souligner ici qu'il s'agit d'un modèle d'équilibre général, dans lequel les émissions polluantes et le revenu national sont déterminés simultanément. Ainsi, lorsqu'il y a libéralisation du commerce, l'efficacité économique accrue qui l'accompagne amène une augmentation de la production et du revenu national (*effet d'échelle*). Le revenu per capita augmente lui aussi, ce qui fait augmenter la demande de qualité de l'environnement par les citoyens des pays impliqués. Le gouvernement peut accommoder les citoyens en diminuant l'offre de pollution, ou ne rien faire.

En fonction de quel critère et comment le gouvernement ajustera-t-il l'offre de pollution? Comme dans de nombreux modèles économiques, on pose l'existence d'un gouvernement bienveillant dont le but est de maintenir la quantité socialement optimale de pollution. Il le fait en ajustant soit le niveau d'une taxe sur la pollution, soit les émissions de permis de polluer échangeables. Si la demande de qualité de l'environnement a augmenté suite à une augmentation du revenu per capita, il peut ramener le niveau de pollution vers le niveau optimal en augmentant la taxe sur la pollution ou en diminuant les émissions de permis de polluer. Ce faisant, il agit sur l'offre de pollution. C'est le scénario de politique flexible. Par contre, si le gouvernement ne change pas sa politique environnementale, c'est le scénario de politique rigide. Notons qu'une politique gouvernementale rigide (exogène) peut être vue comme une situation de court terme, qui dure le temps nécessaire aux modifications de la réglementation et de la technologie de production. De la même façon, une politique

flexible (endogène) peut être vue comme une situation de long terme, dans laquelle le gouvernement et les entreprises ont eu le temps de s'ajuster.

1.6 Commerce Nord-Sud

L'étape suivante dans la construction du modèle est de distinguer deux pays, le Nord et le Sud, qui peuvent avoir des dotations factorielles, des revenus per capita et des politiques environnementales différentes. Le but ici est de représenter un pays industrialisé (PI), riche en capital, au revenu per capita élevé et aux normes environnementales plus strictes, et un pays en voie de développement (PVD) ayant les caractéristiques inverses. Le modèle est maintenant prêt pour l'étude théorique des conséquences de la libéralisation des échanges commerciaux sur les émissions de substances polluantes dans les PI et les PVD.

Si l'hypothèse des havres de pollution est valide, que prédit le modèle s'il y a libéralisation des échanges commerciaux? Pour commencer, on suppose que le Nord et le Sud sont identiques (mêmes dotations factorielles, etc...) sauf pour la politique environnementale, qui est rigide partout et plus accommodante dans le Sud que dans le Nord. S'il s'agit d'une taxe à la pollution, alors $\tau^* < \tau$, où τ^* est le taux de la taxe dans le Sud. Le coût de production du bien « sale » est alors plus faible dans le Sud que dans le Nord, ce qui fait que le prix d'autarcie du bien sale y est plus bas : le Sud a un avantage comparé dans la production du bien sale, et le Nord dans celle du bien propre. Si les deux pays s'ouvrent au commerce, le Nord importera le bien sale et exportera le bien propre, et ce sera l'inverse pour le Sud. La différence de politique environnementale a créé une occasion de commerce, et a fait du Sud un havre de pollution.

Supposons maintenant que les deux pays ne diffèrent que par l'échelle de leur dotation : $K = \lambda K^*$ et $L = \lambda L^*$, avec $\lambda > 1$. Le rapport K/L est le même dans les deux pays, mais les travailleurs du Nord sont plus qualifiés, ce qui fait que la quantité effective de travail par travailleur y est plus grande⁴. Cette plus grande productivité des travailleurs du Nord fait qu'il est plus riche que le Sud, mais comme le rapport K/L est le même dans les deux pays, l'effet de composition n'entre pas en jeu. Comme la politique environnementale est

⁴ Ici, on fait entrer le capital humain dans le modèle par la porte de côté.

endogène, la plus grande richesse du Nord fait que ce pays instaure une politique environnementale plus forte que dans le Sud : $\tau > \tau^*$. On a ici un *effet technique* : à cause du revenu per capita plus élevé du Nord, la demande de qualité environnementale y est plus élevée, et l'équilibre entre cette demande et l'offre correspondante par un gouvernement bienveillant résulte en une intensité d'émissions polluantes plus faible que dans le Sud. Le prix d'autarcie du bien sale est donc plus bas dans le Sud, ce qui lui donne un avantage comparé dans la production du bien sale, alors que le Nord a un avantage comparé dans la production du bien propre. S'il y a ouverture au commerce, le Nord exportera le bien propre et importera le bien sale; la pollution y diminuera. À l'inverse, le Sud, devenu un havre de pollution, importera le bien propre et exportera le bien sale, et la pollution y augmentera. Copeland et Taylor (1994, 2003) montrent que si les effets de revenu ne sont pas trop importants, l'effet d'échelle dû à l'augmentation de la production et du commerce dans le Sud prédominera, l'augmentation de la pollution qui s'ensuit fera plus que compenser sa diminution dans le Nord, et la pollution mondiale *augmentera*.

Que prédit le modèle si ce sont les *dotations factorielles* qui sont le moteur principal du commerce? Supposons que $K/L > K^*/L^*$, et examinons d'abord le cas simple où la politique environnementale est exogène (rigide) et la même dans les deux pays. Comme le Nord a une dotation relativement plus abondante en capital que le Sud, il a un avantage comparé dans la production du bien sale, dont la production est relativement intensive en capital. Inversement, le Sud a un avantage comparé dans la production du bien propre, relativement intensif en travail. Lorsqu'il y a ouverture au commerce, le Nord se spécialise dans la production et l'exportation du bien sale, et la production y *augmente*, contrairement à ce qui arrive sous l'hypothèse des havres de pollution. Inversement, le Sud se spécialise dans la production et l'exportation du bien propre, et la pollution y *diminue*, ce qui ici aussi est le contraire de ce qui arrive sous l'hypothèse des havres de pollution. Il s'agit ici d'une application directe du théorème de Heckscher-Ohlin sur l'impact de l'abondance factorielle relative des pays sur leurs exportations.

Que se passe-t-il maintenant si la politique environnementale est endogène, et qu'il y a ouverture au commerce? Si le Nord et le Sud ont des dotations relatives similaires et que le Nord est plus riche que le Sud, c'est l'effet des différences entre leurs politiques

environnementales qui dominera, c'est-à-dire qu'on observera un effet de havre de pollution : le Sud se spécialisera dans la production du bien sale. Par contre, si les différences de dotations factorielles relatives sont importantes et que leur impact domine celui des différences de revenu, on observera l'inverse : c'est le Nord qui se spécialisera dans la production du bien sale. Copeland et Taylor (2003) montrent que l'effet net sera probablement un déplacement de la production du bien sale vers le Nord, qui est relativement abondant en capital. C'est l'inverse de ce qui se produit sous l'hypothèse des havres de pollution lorsque la politique environnementale est endogène.

Finalement, si l'on convient qu'un ingrédient important du développement économique est l'accumulation de capital, cette accumulation changera les dotations factorielles relatives du Sud par rapport à celles du Nord en faveur de la production de biens intensifs en capital, qui sont de production plus polluante. À long terme, ceci va en sens contraire de la spécialisation du Nord dans la production de biens sales à cause du stock de capital accumulé au cours de son développement. Si l'on n'y prend pas garde, une augmentation de la production de biens sales dans le sud amenée par l'accumulation de capital consécutive au développement pourrait être interprété comme un effet de havre de pollution.

1.7 Libéralisation du commerce et pollution : études empiriques

Les premières études sur la question, dans les années 1990, étaient des études statistiques destinées à évaluer les tendances de la production, de la consommation et du commerce de biens « sales » ou « propres », en lien avec des caractéristiques des pays telles que le revenu, la croissance du revenu ou le degré d'ouverture au commerce. Il s'agissait de classer les industries selon qu'elles étaient plus ou moins polluantes, en utilisant l'intensité de leurs émissions polluantes (émissions par \$ de production), l'intensité de leurs rejets toxiques (quantité émise par \$ de production) ou encore le niveau de leurs coûts de dépollution par \$ de valeur ajoutée. La conclusion générale de ces études était que l'augmentation des coûts de dépollution dans les PI aurait conduit à la création de havres de pollution dans les PVD. Copeland et Taylor remettent en question non pas les résultats obtenus, mais plutôt l'interprétation que leurs auteurs en donnent, et ce sur la base de problèmes méthodologiques inhérents aux méthodes employées. Ils montrent que les résultats des études en question sont

compatibles avec les trois hypothèses énoncées ci-haut sans permettre de choisir laquelle est la bonne. Par ailleurs, dans ce premier groupe d'études, on a négligé le rôle des différences dans le taux d'accumulation des facteurs de production entre les pays. De façon plus fondamentale, selon les auteurs, on a négligé le rôle du développement économique dans l'évolution de la répartition des émissions polluantes. Si le développement économique va de pair avec accumulation de capital, alors il est plausible que la pollution augmente dans les pays en voie de développement, et ce sans que l'on ait à invoquer l'existence de havres de pollution. Ceci n'empêche pas que le laxisme de la réglementation environnementale ait pu jouer un rôle, mais il n'est pas évident à priori qu'il est plus important que celui du développement économique.

À partir de ce point dans leur revue de littérature, les auteurs ne parlent à peu près plus de l'*hypothèse* des havres de pollution, si ce n'est que pour mentionner qu'aucune étude empirique n'a pu la valider au moment où ils écrivent. Dans le reste de leur article, ils interpréteront l'obtention d'un coefficient négatif pour la variable de rigueur de la politique environnementale comme une validation de l'existence d'un *effet* de havre de pollution. À propos de l'*hypothèse* des havres de pollution, ils mentionnent que sa faiblesse majeure est de poser que les différences de politique sont les seuls moteurs de commerce. Dans ce sens, c'est en effet une hypothèse extrême.

Dans un autre courant de recherche, on a commencé à utiliser des données sur la rigueur de la politique environnementale pour voir si elle a un impact sur les flux commerciaux, les investissements, ou encore sur la localisation des usines. Ces études sont basées sur le modèle de commerce international Heckscher-Ohlin-Samuelson, avec des données en coupe transversale et une variable de coût de contrôle de la pollution. Les auteurs de ces études parviennent à la conclusion générale que la politique environnementale n'a que peu ou pas d'effet sur le commerce ou les investissements à l'étranger. Une explication fréquente du peu d'influence du coût de dépollution dans ces études est que ces derniers ne sont qu'une petite fraction des coûts totaux. Aussi, le coefficient de la variable de coût de contrôle de la pollution a même parfois un signe positif, l'inverse de ce qu'il devrait être en théorie s'il existe un effet de havre de pollution. Curieusement, un tel coefficient est souvent vu comme une validation de l'hypothèse de Porter, selon laquelle une réglementation

environnementale plus stricte stimule l'innovation technologique et peut faire augmenter les exportations du pays concerné (Porter et van der Linde, 1995), plutôt que comme une validation de l'importance prépondérante des dotations factorielles.

Les résultats des études mentionnées au paragraphe précédent peuvent s'expliquer de deux façons. D'abord, on aurait omis une ou plusieurs variables décrivant des caractéristiques de l'industrie qui ont une influence sur la production domestique et la demande d'importations. Le résultat des déplacements simultanés de la demande de pollution et de la demande d'importations causés par ces variables omises est alors attribué erronément à la variable de restriction de la pollution, ce qui biaise son coefficient. Ensuite, si le gouvernement module la politique environnementale en fonction des changements de la production domestique (donc des déplacements de la demande de pollution), alors le nouveau prix d'équilibre de la pollution se situe au nouveau point d'intersection de la demande et de l'offre de pollution, c'est-à-dire que ce prix est endogène, et son changement influence le nouvel équilibre de l'économie. Ne pas en tenir compte dans l'estimation biaise aussi le coefficient de la variable de restriction de la pollution.

Quand les chercheurs ont commencé à tenir compte de ces deux problèmes, ils ont obtenu des coefficients négatifs et significatifs, ce qui est conforme à ce qu'on attend en théorie si les effets de havre de pollution prédominent. Par exemple, dans une étude sur les exportations/importations de déchets dangereux entre les états américains, Levinson (1999) trouve d'abord une relation positive et significative entre les importations de déchets et les taxes à l'importation de ces déchets. Lorsqu'il tient compte de l'endogénéité des taxes, les coefficients deviennent négatifs et très significatifs. Ce genre de revirement ne se limite pas au domaine des études sur la rigueur de la politique environnementale. Trefler (1993), dans une étude empirique sur les barrières tarifaires, obtient des impacts nettement plus plausibles pour ces dernières lorsqu'il tient compte de leur endogénéité.

Dans plusieurs études, on obtient une confirmation de l'existence d'un effet de havre de pollution après avoir tenu compte des problèmes d'endogénéité et d'hétérogénéité non observée : Levinson et Taylor (2002); Ederington et Minier (2003); Becker et Henderson (2000); Kahn (1997); Greenstone (2002); List, McHone, Millimet et Frederiksson (2003); et

Keller et Levinson (2002). Les deux premières utilisent comme variables dépendantes les importations/exportations nettes des États-Unis au niveau international et comme variable de politique environnementale les coûts de dépollution (*pollution abatement costs*). Les autres sont des études de décision d'investissement, de localisation d'usines, ou d'activité manufacturière au niveau des états ou des comtés (*counties*) américain. Elles utilisent comme variable de politique environnementale un contrôle d'atteinte des normes du Clean Air Act par les États américains, sauf dans l'étude de Keller et Levinson (2002) où on utilise un indice des coûts de contrôle des polluants (*pollutant abatement costs*). À travers toute cette diversité, on parvient à valider des effets de havre de pollution grâce à la prise en compte de l'endogénéité et de l'hétérogénéité non observée.

En 2008, Levinson et Taylor publient une étude théorique et empirique de l'impact de l'hétérogénéité non observée, de l'endogénéité et de problèmes d'agrégation sur les résultats qu'on obtient lorsqu'on estime des modèles portant sur relation entre les flux du commerce et la réglementation environnementale. Ils utilisent la théorie pour identifier les hypothèses faites en générant l'équation d'estimation typique, ce qui leur permet de suivre à la trace la propagation des conséquences du choix des variables et des limites des données, et d'expliquer certains des résultats quelque peu aberrants obtenus dans certaines études empiriques. Ils utilisent pour ce faire un modèle à deux pays, ayant chacun N secteurs industriels avec les facteurs K et L , etc., et fondent les décisions d'exportations sur des différences de coût unitaire de production entre les deux pays. Sans entrer dans les détails, une différence de coût de la pollution (sous la forme d'une taxe) entre les deux pays entraîne un changement dans les flux du commerce.

Leur modèle empirique porte sur le commerce entre les États-Unis d'une part, et le Canada et le Mexique d'autre part, de 1977 à 1986 (sauf 1979) et pour 132 industries. Comme proxy pour la variable de politique environnementale, Levinson et Taylor utilisent des données sur les coûts de contrôle de la pollution ou PAC (*pollution abatement costs*) qui ont été récoltées par le *U.S. Census Bureau* 1974 à 1994 pour tous les secteurs industriels SIC⁵ à trois chiffres dans chaque état américain. Ces données ont souvent été utilisées dans

⁵ Standard Industrial Classification

les études sur l'effet de havre de pollution. Le choix des PAC crée les trois problèmes économétriques suivants. Premièrement, comme les variations dans l'avantage comparé entre les États-Unis et ses partenaires ont un impact sur les coûts de dépollution aux États-Unis, le coefficient des PAC des États-Unis reflète cette hétérogénéité non observée en plus des différences dans la rigueur de la réglementation. Ceci peut créer un faux lien négatif entre les PAC et les importations nettes, ce qui s'est effectivement produit dans certaines études empiriques. Le deuxième problème vient de ce que des données équivalentes aux PAC n'existent pas au Mexique et au Canada. Le terme d'erreur de l'équation estimée est alors corrélé avec la variable de réglementation environnementale au pays, et les moindres carrés ordinaires sont biaisés et inconsistants. Troisièmement, il existe un biais d'agrégation dans les PAC parce que l'unité d'agrégation, le secteur à 3 chiffres, est un mélange hétérogène d'industries à 4 chiffres. Ceci fait que la variable dépendante de l'équation d'estimation, la valeur des importations nettes par dollar de production domestique, est déterminée simultanément aux PAC, une variable explicative.

Pour tenir compte de l'hétérogénéité non observée, Levinson et Taylor utilisent des effets fixes par pays et par industrie. Pour pallier à l'endogénéité des coûts de dépollution, ils utilisent des variables instrumentales dans le cadre de moindres carrés à deux étapes. Ils justifient de façon détaillée leur choix de variables instrumentales. Ils trouvent qu'une augmentation de 1% des coûts de dépollution en pourcentage de la valeur ajoutée manufacturière amène une augmentation de 0,4% des importations nettes des États-Unis en provenance du Mexique, et de 0,6% en provenance du Canada. Pour mettre ces résultats en perspective, les auteurs font remarquer que pendant la période étudiée (1977-1986), les coûts de dépollution en pourcentage de la valeur ajoutée ont plus que doublé aux États-Unis, et que le volume du commerce extérieur des États-Unis a augmenté de plus de 300% avec le Mexique, et de plus de 600% avec le Canada.

1.8 Interaction stratégique entre juridictions dans la détermination des politiques

Les éventuels ajustements apportés par les gouvernements à la rigueur de la politique environnementale ne sont pas faits en isolation des autres politiques susceptibles d'inciter les entreprises à venir s'établir dans un pays ou une région, ni des politiques des gouvernements

des autres pays qui veulent attirer ces entreprises. En pratique, les gouvernements sont susceptibles d'offrir aux entreprises des ensembles (*packages*) comprenant aussi des incitatifs au niveau de la politique fiscale, des dépenses gouvernementales (investissements en infrastructures, subventions, etc.), de la politique commerciale, de la politique relative à la propriété intellectuelle, etc. Les gouvernements des pays qui veulent attirer ces entreprises sont clairement en compétition les uns avec les autres. La détermination des variables de rigueur des politiques est donc endogène, et il faut en tenir compte dans la modélisation.

Entre autres études empiriques de l'interaction stratégique entre les juridictions dans la détermination des politiques, citons celles de Fredriksson et Millimet (2002, 2004), de Co, List et Qui (2004), et de Kellenberg (2009). Ce dernier utilise comme variable dépendante la production à l'étranger des multinationales américaines. Il trouve un *effet* de havre de pollution à l'intérieur d'un groupe de 50 pays, à travers 9 industries et sur 5 ans (de 1999 à 2003). Dans son modèle, les variables suivantes sont toutes endogènes pour chaque pays: la production manufacturière par secteur industriel, le PIB, et, en plus de la politique environnementale, les politiques commerciales et de propriété intellectuelle. Le modèle est estimé à l'aide de variables instrumentales (MC2E). Parmi les pays qui se situent dans les 20 percentiles supérieurs de la croissance de la production des multinationales américaines, Kellenberg trouve que 8,6% de la croissance de cette production peut être attribuée à une diminution de la rigueur relative de leur politique environnementale. Pour les pays en développement et en transition, l'effet est encore plus important : il explique 32% de cette croissance. Un résultat secondaire intéressant est que ce ne sont pas les industries les plus intensives en capital qui sont susceptibles de se déplacer à la suite de changements aux politiques environnementales, mais plutôt des industries plus mobiles telles que celles des composantes électroniques, appareils ménagers, petits appareils électriques, secteur alimentaire, etc., qui ont des coûts fixes moins élevés.

Dans son étude, Kellenberg incorpore des variables pour trois politiques gouvernementales, toutes trois endogènes. Cette façon de faire est dans la logique de l'étude de Fredriksson, List et Millimet (2004). Ces derniers étudient l'interaction stratégique entre les états américains désireux d'attirer les investissements, dans la détermination de la politique environnementale, de la taxation et des dépenses gouvernementales (1977-94). Ces

trois variables étant endogènes, ils doivent utiliser des variables instrumentales pour obtenir des résultats satisfaisants. Ils montrent qu'il existe en effet d'importantes interactions stratégiques dans la détermination de ces politiques.

Des études comme celles-ci nous montrent que la variable de politique environnementale (entre autres) n'est pas endogène seulement quand, par exemple, le coefficient des coûts de dépollution reflète de l'hétérogénéité non observée entre les secteurs ou pays, mais aussi et surtout parce que les états ajustent leurs politiques selon l'évolution du contexte économique et commercial, y compris la concurrence avec les états voisins pour attirer les entreprises. Il n'est donc tout simplement pas possible de considérer la variable de politique environnementale comme exogène.

1.9 Modèles de flux commerciaux et détection d'un EHP

Les modèles destinés à la détection d'un EHP peuvent être classés selon le type de variable dépendante modélisée : les investissements directs à l'étranger, comme dans Xing et Koldstad (2002); la production à l'étranger des multinationales américaines, comme dans Kellenberg (2009); le contenu en pollution des importations, comme dans Grether, Mathys et de Melo (2010); et les flux commerciaux. Les modèles de flux commerciaux utilisent soit des flux nets (i.e. importations ou exportations nettes), soit les importations ou les exportations. Les modèles de commerce international utilisent habituellement les exportations, et c'est ce que nous avons choisi d'utiliser dans ce mémoire.

En général, ces modèles utilisent des équations de gravité. Celles-ci sont apparues dans les années soixante, et sont éventuellement devenues un outil empirique important dans l'étude du commerce international. Elles sont inspirées de l'équation de gravité de Newton, qui décrit la force gravitationnelle entre deux corps comme proportionnelle au produit de leurs masses respectives et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare. Transposée dans le domaine du commerce international et dans sa forme la plus simple, l'équation de gravité pose que le flux commercial entre deux pays est proportionnel au produit de leur PIB respectifs et inversement proportionnel à la distance qui les sépare – et ça donne de très bon résultats empiriques. Plus tard, divers chercheurs ont montré qu'on peut réconcilier l'équation de gravité avec la théorie économique.

Un exemple de modèle qui utilise des flux commerciaux est celui de Cave et Blomquist (2008). Ces derniers étudient l'impact sur les importations des pays de l'Union Européenne de l'intensité énergétique et de la toxicité des rejets par secteur manufacturier, de 1970 à 1999. Ils évitent le problème de l'endogénéité des coûts de dépollution auquel ont fait face Levinson et Taylor (2008) en utilisant un indice d'intensité énergétique et un indice de toxicité des rejets comme dans Kahn (2003) et Kahn et Yoshino (2004), plutôt que des coûts de contrôle de la pollution. Leurs résultats montrent que pendant la période de normes environnementales plus strictes et plus uniformes qui a suivi la signature du Traité de Maastricht en 1992, les importations intensives en énergie des pays de l'UE en provenance des pays plus pauvres de l'OCDE et des pays européens qui n'appartiennent pas à l'UE ont augmenté.

Dans ce mémoire, nous allons modifier un modèle de commerce international avec équations de gravité, et voir si l'on peut trouver un effet de havre de pollution en ajoutant une variable de rigueur de la politique environnementale. Nous décrirons et expliquerons la spécification du modèle employé dans le chapitre suivant.

CHAPITRE II

LE MODÈLE

Notre modèle comprend d'abord une équation de gravité décrivant les exportations du pays i au pays j pour la période allant de 1980 à 2006 (section 2.1). Il est ensuite modifié pour décrire les exportations à partir de 26 secteurs manufacturiers du pays d'origine, vers le pays de destination (section 2.2).

À la section 2.1, on ajoute au modèle un proxy du laxisme de la réglementation environnementale dans le pays i (lre_i) et un autre proxy pour le pays j (lre_j). Ces proxy sont issus d'une équation d'émissions de SO_2 par pays en fonction de variables telles que le PIB, le prix de l'énergie, l'utilisation de charbon et de pétrole dans la production d'électricité, et bien sûr le lre . La justification théorique du proxy est donnée à la section 2.3, et sa formulation empirique à la section 2.4. La section 2.5 décrit brièvement l'insertion du proxy dans l'équation de gravité.

2.1 Modèle de base, commerce international

Nous avons utilisé comme modèle de base celui de de Head, Mayer et Ries (2010). Ce modèle est conçu pour identifier l'impact des relations coloniales sur le commerce international. Il est basé sur une équation de gravité conventionnelle, sous forme log-log :

$$\ln x_{ijt} = \ln G_t + \ln M_{it}^{ex} + \ln M_{jt}^{im} + \delta D_{ijt} + u_{ijt} \quad (2.1)$$

Dans cette équation, les x_{ijt} sont les exportations industrielles du pays i au pays j en l'année t . Les M_{it}^{ex} et les M_{jt}^{im} sont des indices des caractéristiques des pays i et j en t , qui seront représentés dans l'équation empiriques par des variables monadiques. Les G_t sont des

ordonnées à l'origine annuelles; dans l'équation empirique, on aura plutôt une ordonnée à l'origine commune pour l'équation, plus des effets fixes de temps. Le terme D_{ijt} est une matrice d'observations en t sur des variables relatives aux frictions au commerce entre i et j, appelées variables dyadiques. Les u_{ijt} sont les termes d'erreur, qui comprennent en plus de la composante stochastique les variations dues aux frictions bilatérales non observées. Head, Mayer et Ries (2010) ont approximé M_{it}^{ex} et M_{jt}^{im} par les PIB per capita et la population de i et de j, respectivement, pour séparer l'effet de la taille de l'économie et celui de son développement. On obtient ainsi leur équation de base (avec nos noms de variables) :

$$\ln exp_{ijt} = \ln G_t + \beta_1 \ln pop_{it} + \beta_2 \ln pibcap_{it} + \beta_3 \ln pop_{jt} + \beta_4 \ln pibcap_{jt} + D_{ijt}\beta + u_{ijt}. \quad (2.2)$$

où pop_{it} et pop_{jt} sont la population de i et de j, et $pibcap_{it}$ et $pibcap_{jt}$ sont le PIB per capita de i et de j, respectivement. La matrice D_{ijt} comprend les données sur variables dyadiques suivantes, pour chaque paire de pays ij au temps t :

Variables dyadiques constantes dans le temps :

$\ln wdist_{ij}$	ln de la distance géodésique pondérée entre i et j
$contig_{ij}$	égale à un lorsque i et j ont une frontière commune
$comlang_{ij}$	égale à un lorsque i et j ont une langue officielle commune
$comleg_{ij}$	égale à un lorsque i et j ont un système légal d'origine commune
col_hist_{ij}	égale à un lorsque deux pays ont une histoire de relation coloniale, peu importe que la colonie soit indépendante ou que la relation coloniale dure encore, pour tout t
col_always_{ij}	égale à un lorsque deux pays sont en relation coloniale pour toute la durée de la période d'estimation du modèle

Variables dyadiques qui changent dans le temps :

$comcur_{ijt}$	égale à un lorsque i et j ont une monnaie commune
rta_{ijt}	égale à un lorsque i et j appartiennent à une entente régionale de commerce
$gatt_{ijt}$	égale à un lorsque i et j appartiennent au GATT

acp_{ijt}	égale à un lorsque le pays i exporte vers son ancienne métropole j et bénéficie d'un traitement préférentiel en vertu d'une entente de commerce dite Asie-Caraïbes-Pacifique
$indep_{nijt}$	où $n = 1, \dots, 59$; égale à un lorsque la colonie i s'est séparée de sa métropole j depuis n années
$indep60plus_{ijt}$	égale à un lorsque la colonie i est séparée de sa métropole j depuis 60 ans ou plus

Parmi les variables dyadiques, la distance pondérée entre les pays est d'intérêt particulier. Pour chaque paire de pays, elle tient compte des distances entre leurs principales villes, pondérées par la part de chacune de ces villes dans la population de son pays⁶ :

$$d_{ij} = \left(\sum_{k \in i} (pop_k / pop_i) * \sum_{l \in j} (pop_l / pop_j) d_{kl}^\theta \right)^{1/\theta} \quad (2.3)$$

où : d_{ij} :	distance géographique pondérée entre les pays i et j ;
pop_k :	population de la ville k du pays i ;
pop_l :	population de la ville l du pays j ;
θ :	paramètre de sensibilité du commerce aux distances kl ;
d_{kl} :	distance géographique entre les villes k et l .

Parlons maintenant des variables décrivant les relations coloniales entre les pays du panel. Par construction, l'impact pour le pays i d'être en relation coloniale avec le pays j , jusqu'à l'année de l'indépendance inclusivement, est décrit par le coefficient de la variable col_hist_{ij} . À partir de l'année suivant celle de l'indépendance, l'impact de la relation coloniale sur les flux commerciaux est décrit par la somme des coefficients des variables col_hist_{ij} et $indep_{nijt}$, où n est le nombre d'années depuis l'indépendance. Pour deux pays qui sont en relation coloniale continue pendant toute la période d'estimation, l'impact de la relation est décrit par la somme des coefficients de col_hist_{ij} et de col_always_{ij} .

⁶ Le lecteur intéressé pourra se référer au document de travail No 2011-25 du CEPPII : « Notes on CEPPII's distance measures : the GeoDist database ». Voir <http://www.cepii.fr/anglaisgraph/bdd/distances.htm>.

Finalement, les $\ln G_t$ sont les variables dichotomiques de temps, d_t , additionnées chacune de l'ordonnée à l'origine commune de la régression. Nous avons réécrit l'équation pour faire apparaître séparément l'ordonnée à l'origine commune et les d_t :

$$\ln exp_{ijt} = \beta_0 + \beta_1 \ln pop_{it} + \beta_2 \ln pibcap_{it} + \beta_3 \ln pop_{jt} + \beta_4 \ln pibcap_{jt} + D_{ijt}\beta + d_t + u_{ijt}. \quad (2.4)$$

Le modèle est estimé avec les données d'un panel de plus de 200 pays, pour une période allant de 1980 à 2006. Les données sont décrites au chapitre suivant.

La spécification HMR (Head, Mayer et Ries, 2010) a un inconvénient : les PIB, qui apparaissent du côté droit de l'équation, sont endogènes : ils sont directement reliés aux exportations à travers l'équation de base de la comptabilité nationale : $Y = C + I + G + X - M$. Pour cette raison, nous avons aussi estimé notre modèle avec une spécification alternative, dérivée du modèle d'équilibre général CES-DSK (Dixit et Stiglitz, 1977; Krugman, 1980) :

$$\ln(exp_{ijt}/(pib_{it} * pib_{jt})) = \beta_0 + D_{ijt}\beta + d_t + u_{ijt} \quad (2.5)$$

où pib_{it} et pib_{jt} sont respectivement le PIB de i et de j au temps t . Pour simplifier, nous écrirons :

$$\ln wexp_{ijt} = \beta_0 + D_{ijt}\beta + isicd_k + d_t + u_{ijt} \quad (2.6)$$

Cette spécification alternative nous servira aussi à juger de la robustesse de nos résultats. Nous l'avons estimée telle quelle, puis en ajoutant le PIB per capita de i et de j aux variables explicatives. En effet, un pays ayant un PIB per capita plus élevé exportera en moyenne des biens et services ayant une plus grande valeur ajoutée. Cependant, en ajoutant le PIB per capita aux variables explicatives, on y ramène le PIB, ce qui limite l'utilité de la spécification DSK.

2.2 Modèle avec données de commerce désagrégées par secteur manufacturier

Un effet de havre de pollution ne se manifestant pas nécessairement dans tous les secteurs, nous avons désagréé les exportations selon les secteurs industriels du pays

exportateur. Ces secteurs sont énumérés au tableau A.1 (appendice A). Ils sont classés selon la CITI Révision 2, et sont représentés dans le modèle par les effets fixes $isicd_k$, $k = 1, \dots, 26$. Nous avons estimé ce modèle avec les deux spécifications décrites ci-dessus, soit celle de HMR et celle de DSK. La première s'écrit comme suit :

$$\ln exp_{ijkt} = \beta_0 + \beta_1 \ln pop_{it} + \beta_2 \ln pibcap_{it} + \beta_3 \ln pop_{jt} + \beta_4 \ln pibcap_{jt} + D_{ijkt}\beta + isicd_k + d_t + u_{ijkt} \quad (2.7)$$

Avec les données désagrégées, l'endogénéité des PIB sera peut-être mitigée par le fait que la relation du PIB total d'un pays est moins directe avec les exportations sectorielles qu'avec les exportations totales. Nous gardons tout de même la formulation DSK qui nous servira à juger de la robustesse de nos résultats :

$$\ln \left(exp_{ijkt} / (pib_{it} * pib_{jt}) \right) = \beta_0 + D_{ijkt}\beta + isicd_k + d_t + u_{ijkt} \quad (2.8)$$

Pour simplifier, nous écrirons tout simplement:

$$\ln wexp_{ijkt} = \beta_0 + D_{ijkt}\beta + isicd_k + d_t + u_{ijkt} \quad (2.9)$$

Comme dans le cas du modèle d'exportations agrégées, nous avons estimé cette spécification sans, puis avec les variables dépendantes $pibcap_{it}$ et $pibcap_{jt}$ pour tenir compte d'une probable augmentation des exportations en provenance de secteurs à plus grande valeur ajoutée à partir des pays qui ont un PIB per capita plus élevé.

2.3 Proxy du laxisme de la réglementation environnementale

Il n'existe pas de série statistique sur le laxisme de la réglementation environnementale des pays de la planète. Pour tenir compte de cette variable, nous avons choisi d'utiliser un proxy inspiré de celui de Xing et Kolstad (2002). Ces derniers ont étudié l'impact du laxisme de la réglementation environnementale (LRE) sur les investissements directs des États-Unis à l'étranger. Pourquoi raisonner en termes de laxisme plutôt qu'en terme de rigueur? Ce choix reflète de façon directe le mécanisme de l'EHP. En effet, on a un EHP lorsque des pays vont maintenir ou augmenter le laxisme de leur réglementation environnementale pour attirer des

entreprises polluantes. En d'autres mots, c'est le laxisme qui est leur atout en la matière. Aussi, raisonner en termes de laxisme facilite la comparaison avec l'étude de Xing et Kolstad (2002) sur laquelle nous nous sommes basés pour notre travail. Dans les deux études, avec un EHP, une augmentation du laxisme favorise une augmentation de la production et donc de l'exportation de biens sales par le pays concerné.

Leur proxy est basé sur le fait que les émissions de SO_2 dues à l'activité humaine sont principalement un sous-produit de la consommation d'énergie, particulièrement celle de charbon. On obtient l'équation d'émissions suivante :

$$so2 = e(C_E), \quad (2.10)$$

où C_E est la consommation d'énergie. Cette dernière est fonction du prix de l'énergie, du PIB, du LRE et d'autres variables spécifiques à chaque pays (le vecteur W)⁷ :

$$so2 = e(P_E, pib, lre, W) \quad (2.11)$$

Le LRE agit sur les émissions de deux façons : directement, par les modifications techniques apportées aux installations de production suite à la réglementation, et indirectement, parce qu'une diminution du lre (une augmentation de la rigueur) augmente le coût de la consommation d'énergie en augmentant les coûts de contrôle des émissions. Les émissions sont donc une fonction positive du LRE et du PIB, et une fonction négative du prix de l'énergie. Selon les hypothèses formulées ci-haut, on a donc $\partial e / \partial lre > 0$, $\partial e / \partial pib > 0$, et $\partial e / \partial P_E < 0$.

Dans Xing et Kolstad (2002), les variables du vecteur W sont ESI (*electricity structure index*), le rapport de la capacité de production d'hydroélectricité d'un pays à la capacité de production de ses centrales thermiques, et R, la part de sa production industrielle dans son PIB. La variable ESI a l'inconvénient de pouvoir varier tout autant par son numérateur, la capacité de génération d'hydroélectricité, que par son dénominateur, la capacité de génération thermique. Nous avons préféré prendre la quantité d'électricité produite à partir de charbon et

⁷ Nous utilisons ici notre propre notation au lieu de celle Xing et Kolstad (2002), pour faciliter la lecture.

de pétrole (qco , en kWh) pour tenir compte du SO_2 dégagé lors de leur combustion⁸. Quant à R , nous avons utilisé la valeur ajoutée industrielle par dollar de PIB ($ivapib$):

$$so2 = e(P_E, pib, lre, qco, ivapib) \quad (2.12)$$

Il n'est pas évident de trouver un indice du prix de l'énergie vendue aux utilisateurs industriels finaux pour différents pays. Xing et Kolstad (2002) l'omettent puisqu'il utilisent des données en coupe transversale, et que les prix, disent-ils, seront en gros constants (« *roughly constant* ») à travers les observations. Nous ne croyons cependant pas que cette hypothèse puisse être faite. Par exemple, en 2006, P_E n'était certainement pas le même pour le Japon, qui produisait son électricité principalement à partir de nucléaire (28%), de charbon (27%) et de gaz naturel (24%), que pour son voisin la Chine, qui utilisait 80% de charbon et 15% d'hydroélectricité⁹. Toujours en 2006, en Europe, la France utilisait 79% de nucléaire et 10% d'hydroélectricité, alors que l'Allemagne utilisait 48% de charbon et 27% de nucléaire. Ces pays sont présents dans le panel de Xing et Kolstad. De plus, notre modèle sera estimé avec des données couvrant une période de 27 ans, pendant lesquelles les prix de l'énergie auront beaucoup varié.

L'absence d'un prix de l'énergie crée un problème de variable omise. Nous avons tenté de pallier à l'absence de P_E en introduisant la variable $shng_elprod$, la part de l'hydroélectricité et du gaz naturel dans la production d'électricité, parce que ces deux sources d'énergie sont les substituts les moins chers du charbon et du pétrole. L'équation 2.12 devient alors :

$$so2 = e(shng_elprod, pib, lre, qco, ivapib) \quad (2.13)$$

Pourquoi avoir utilisé une variable de part pour l'hydro et le gaz naturel ($shng_elprod$) et une variable de quantité pour le charbon et le pétrole (qco)? C'est pour

⁸ La combustion de l'huile lourde dégage elle aussi du SO_2 , quoique de façon moins importante que celle du charbon. Les données disponibles ne nous permettent cependant pas de distinguer entre l'huile légère et l'huile lourde.

⁹ Ces données sont tirées de notre panel de données.

éviter que dans certains cas, la somme de $qcopib$ et de $qhngpib$ (ou celle de $shng_elprod$ et de sco_elprod) ne corresponde à la quasi-totalité de la production d'électricité d'un pays et soit une quasi-constante qui puisse causer un problème de colinéarité. Cet argument tient aussi avec la normalisation que nous allons maintenant effectuer.

Contrairement à Xing et Kolstad (2002), nous avons préféré travailler avec l'intensité des émissions plutôt qu'avec leur grandeur, afin de pouvoir comparer facilement les pays entre eux. En supposant que la fonction est homothétique de degré un par rapport au PIB, l'équation (2.13) devient:

$$so2pib = e(lre, qcopib, shng_elprod, ivapib) \quad (2.14)$$

Il est à noter qu'avec cette normalisation, le PIB disparaît du membre de droite de l'équation. Aussi, nous n'avons pas divisé la variable de part ($shng_elprod$) par le PIB, ce qui n'aurait pas eu de sens. Si la fonction (2.12) s'inverse, on obtient un proxy du LRE :

$$lre = h(so2pib, qcopib, shng_elprod, ivapib), \quad (2.15)$$

avec $\partial h / \partial so2 > 0$.

Telle quelle, cependant, l'équation est incomplète. En effet, le laxisme de la réglementation environnementale résulte de l'interaction de l'offre et de la demande de qualité de l'environnement, et le principal déterminant de la demande est le PIB per capita. Xing et Kolstad (2002) n'en tiennent pas compte. Nous avons décidé d'ajouter cette variable à notre équation¹⁰:

$$lre = h(so2pib, pibcap, qcopib, shng_elprod, ivapib), \quad (2.16)$$

Notons que le PIB per capita apparaît déjà dans le modèle de commerce. Une fois que le proxy aura été substitué dans ce dernier, le PIB per capita aura donc un lien avec deux des variables du modèle : les exportations et le LRE. S'il y a effet de havre de pollution, une

¹⁰ Notre fonction de LRE est ainsi une sorte de forme réduite empirique de la consommation de qualité environnementale, déterminée par l'interaction de l'offre et de la demande. Cette consommation est liée au LRE par une relation inverse : quand elle augmente, le LRE diminue.

augmentation du PIB per capita fera diminuer le laxisme de la réglementation environnementale et diminuer les exportations « sales » de certains secteurs. La même augmentation du PIB per capita fera par ailleurs augmenter la valeur ajoutée des exportations dans certains secteurs, et diminuer dans d'autres. La direction de l'effet net par secteur est une question empirique.

L'équation (2.16) est une relation empirique. Telle quelle, elle aurait un problème de simultanéité : $so2pib$ et $pibcap$ sont endogènes, de même que $qcopib$ et $shng_elprod$ puisqu'ils dépendent en partie du LRE. Elle est cependant destinée à être substituée dans une équation de gravité. La question de la présence ou non de simultanéité se posera donc au niveau de l'équation de gravité et sera discutée à section 4.4.

Comme alternative à une spécification basée sur un prix de l'énergie dont on doit pallier l'absence par l'utilisation d'une variable proxy (ici, $shng_elprod$), on peut retourner à l'équation de base des émissions de SO_2 (2.9) et conserver la variable de consommation d'énergie au lieu d'y substituer ses déterminants. En divisant des deux côtés par le PIB, on obtient :

$$so2pib = e(cepib) \quad (2.17)$$

On peut alors justifier l'inclusion du LRE dans le membre de droite de l'équation par son influence directe sur les émissions :

$$so2pib = e(cepib, lre) \quad (2.18)$$

d'où :

$$lre = h(so2pib, cepib) \quad (2.19)$$

En pratique, cependant, on peut décider d'inclure $cepib$ dans le proxy (2.11) en tant qu'autre variable destinée à mitiger l'absence d'un prix de l'énergie, de façon à aller chercher toute la variabilité possible. On obtient alors notre version « toute garnie » du proxy :

$$lre = h(so2pib, cepib, pibcap, qcopib, shng_elprod, ivapib) \quad (2.20)$$

Ce proxy est-il représentatif de l'impact du LRE sur la plupart des secteurs manufacturiers, ou bien est-ce qu'il ne décrit bien que l'industrie lourde, énergivore et émettrice de SO_2 ? Xing et Kolstad (2002) montrent que les émissions de SO_2 sont fortement corrélées avec celles de composés organiques volatiles, de monoxyde de carbone, de particules en suspension dans l'air et de plomb, mais non à celles des oxydes d'azote. De façon plus générale, Kahn et Yoshino (2004) montrent que l'intensité énergétique est fortement reliée à 12 de 13 indicateurs de pollution publiés par la Banque Mondiale¹¹, y compris les émissions de SO_2 . Finalement, Eskeland et Harrison (2003) montrent que cette même intensité énergétique est un bon proxy pour trois différents types de pollution : les particules en suspension dans l'air, les rejets toxiques, et à un moindre degré la demande biologique d'oxygène (pollution de l'eau). Les émissions de SO_2 sont donc reliées à celles de nombreux polluants dans l'industrie en général. Ceci ne veut pas dire qu'il n'y a pas de secteurs où il serait préférable d'utiliser un autre indicateur, mais nous nous limiterons aux émissions de SO_2 dans le cadre du présent travail.

2.4 Formulation empirique du proxy du LRE

Le proxy de Xing et Kolstad (2002) est de forme semi-log¹² :

$$lre_i = \ln so2pib - \alpha \ln pibcap - \alpha_E \ln qcopib - \alpha_R \ln ivapib + \varepsilon_i, \quad (2.21)$$

avec α , α_E , et $\alpha_R > 0$, et où nos variables $qcopib$ et $ivapib$ remplacent les variables ESI et R de Xing et Kolstad (voir plus haut). Le coefficient de $\ln so2pib$ est normalisé à +1 sans perte de généralité. Ainsi, après substitution du proxy dans l'équation de gravité, le coefficient de $\ln so2pib$ pourra être interprété directement comme celui de lre_i . Le signe positif du +1 permet d'interpréter lre_i comme le laxisme de la réglementation environnementale et non l'inverse (i.e. la rigueur). Le signe négatif devant les coefficients α reflète nos attentes quant au signe des coefficients, compte tenu entre autres du signe des dérivées partielles de l'équation 2.10.

¹¹ Wheeler, David, Hemamala Hettige, Manjula Singh et Paul Martin. 1998 . « IPPS Pollution Intensity and Abatement Cost Datasets ». Voir <http://go.worldbank.org/T6HCIH0RO0>.

¹² Nous utilisons encore ici nos noms de variables pour faciliter la lecture.

Dans Xing et Kolstad (2002), ce proxy est destiné à être inséré dans une équation de détermination des investissements directs à l'étranger dans laquelle les variables ne sont pas sous forme logarithmique. Dans ce contexte, il est logique d'utiliser un proxy dont la variable dépendante n'est pas sous forme logarithmique. Notre équation de gravité est cependant de forme log-log, sauf pour les variables binaires et pour celles dont la valeur est comprise entre zéro et un. Nous avons donc préféré utiliser un proxy de forme log-log. Comme le laxisme de la réglementation environnementale est une donnée qui n'existe pas et qu'on représente par une échelle notionnelle et arbitraire, il importe peu de la faire apparaître dans l'équation sous forme logarithmique ou pas. Voici donc notre proxy dans une version qui comprend toutes les variables qui peuvent aider à mitiger l'absence d'un prix de l'énergie :

$$\begin{aligned} \ln lre = & \ln so2pib + \alpha_{pic} \ln pibcap + \alpha_{qco} \ln qcopib + \alpha_{iva} ivapib \\ & + \alpha_{cep} \ln cepib + \alpha_{shng} shng_elprod + \varepsilon \end{aligned} \quad (2.22)$$

où ε est le terme d'erreur et où les indices i et t sont omis. Comme dans Xing et Kolstad (2002) et pour les mêmes raisons, nous avons normalisé le coefficient de $\ln so2pib$ à « +1 ». Les autres variables sont décrites plus haut.

2.5 Insertion du proxy dans le modèle de commerce

Lorsqu'on substitue l'équation (2.22) dans l'équation du modèle HMR (2.7), on obtient :

$$\begin{aligned} \ln exp_{ijkt} = & \beta_0 + \beta_1 \ln pop_{it} + \beta_2 \ln pib_{it} + \beta_3 \ln pop_{jt} \\ & + \beta_4 \ln pib_{jt} + D_{ijkt} \beta \\ & + \beta_{lre}^{ori} (\ln so2pib_{it} + \alpha_{pic} \ln pibcap_{it} + \alpha_{qco} \ln qcopib_{it} + \alpha_{iva} ivapib_{it} \\ & + \alpha_{cep} \ln cepib_{it} + \alpha_{shng} shng_elprod_{it} + \varepsilon_{it}) \\ & + \beta_{lre}^{des} (\ln so2pib_{jt} + \alpha_{pic} \ln pibcap_{jt} + \alpha_{qco} \ln qcopib_{jt} + \alpha_{iva} ivapib_{jt} \dots \end{aligned}$$

$$\dots + \alpha_{cep} \ln cepib_{jt} + \alpha_{shng} shng_elprod_{jt} + \varepsilon_{jt}) + isicd_k + d_t + u_{ijkt} \quad (2.23)$$

Il devient alors évident que la normalisation du coefficient de $\ln so2pib$ à « +1 » nous permet de l'interpréter directement comme le coefficient du LRE dans l'équation de gravité. Pour le modèle DSK, on obtient :

$$\begin{aligned} \ln wexp_{ijkt} = & \beta_0 + D_{ijkt} \beta \\ & + \beta_{lre}^{ori} (\ln so2pib_{it} + \alpha_{pic} \ln pibcap_{it} + \alpha_{qco} \ln qcopib_{it} + \alpha_{iva} ivabib_{it} \\ & + \alpha_{cep} \ln cepib_{it} + \alpha_{shng} shng_elprod_{it} + \varepsilon_{it}) \\ & + \beta_{lre}^{des} (\ln so2pib_{jt} + \alpha_{pic} \ln pibcap_{jt} + \alpha_{qco} \ln qcopib_{jt} + \alpha_{iva} ivabib_{jt} \\ & + \alpha_{cep} \ln cepib_{jt} + \alpha_{shng} shng_elprod_{jt} + \varepsilon_{jt}) + isicd_k + d_t + u_{ijkt} \quad (2.24) \end{aligned}$$

Le nom et le signe attendu des coefficients des variables du proxy dans l'équation finale sont donnés en détail dans le tableau 2.1 (voir plus bas).

2.6 Identification de l'impact sectoriel du LRE

Dans les équations 2.23 ou 2.24, rien ne permet encore d'identifier l'impact différentiel de la LRE d'un pays sur ses différents secteurs manufacturiers. Une façon de le faire est d'introduire, pour chaque secteur, un terme d'interaction entre la binaire du secteur et le LRE du pays. Si on ajoute de tels termes à l'équation 2.21, le terme d'interaction du secteur k du pays i apparaît comme suit :

$$\ln exp_{ijkt} = \dots + \beta_{ori,k}^{is.lre} (isicd_k * \ln lre_{it}) + \dots \quad (2.25)$$

Pour les données du secteur particulier k , on a que $isicd_k = 1$ et les coefficients du terme d'interaction et du LRE s'additionnent :

$$\ln exp_{ijkt} = \dots + \beta_{ori}^{lre} \ln lre_{it} + \beta_{ori,k}^{is.lre} (\ln lre_{it}) + \dots \quad (2.26)$$

$$= \dots + (\beta_{ori}^{lre} + \beta_{ori,k}^{is.lre}) \ln lre_{it} + \dots \quad (2.27)$$

Le coefficient total $\beta_{ori}^{lre} + \beta_{ori,k}^{is.lre}$ représente l'impact total du LRE sur les exportations sectorielles.

On introduit les mêmes interactions de la même façon dans l'équation 2.22.

2.7 Signe des élasticités du proxy du LRE

On trouvera au tableau 2.1 les signes attendus des coefficients du proxy (les $\alpha\beta$) dans l'équation (2.16), étant donné les hypothèses faites plus haut. En principe, si les exportations du pays i vers le pays j pour le secteur k sont sujettes à un effet de havre de pollution, le coefficient β_{lre} devrait être positif pour le pays d'origine et négatif pour le pays de destination. En effet, quand le laxisme de la réglementation environnementale augmente, ceci devrait favoriser la production et donc l'exportation de biens « sales » par le pays d'origine. L'effet est le même pour le pays de destination, sauf que s'il augmente sa production de biens « sales », il s'ensuit qu'il en importera moins, ce qui fera diminuer les exportations de ces biens par les autres pays. Cet effet sera cependant réparti sur de nombreux pays exportateurs, ce qui fait qu'on s'attend à ce que l'impact sur le pays i soit de relativement faible grandeur.

Le signe attendu du coefficient de $\ln pibcap$ est à priori indéterminé. D'une part, selon l'hypothèse qui sous-tend le proxy et s'il y a un EHP, une augmentation du PIB per capita du pays d'origine fera diminuer son LRE, d'où un coefficient α_{pic} négatif. La diminution du LRE fera alors diminuer les exportations de biens « sales » (coefficient β_{lre}^{ori} positif). Net, le coefficient $\alpha_{pic}\beta_{lre}^{ori}$ sera négatif. D'autre part, une augmentation du PIB per capita est susceptible de faire augmenter la valeur ajoutée des exportations, et si cet effet est dominant, le coefficient combiné $\alpha_{pic}\beta_{lre}^{ori}$ sera plutôt positif. Les résultats de l'estimation du modèle nous permettront de déterminer le signe de $\alpha_{pic}\beta_{lre}^{ori}$.

Le signe des coefficients $\alpha\beta$ découle des hypothèses faites plus haut sur le proxy, c'est-à-dire sur les coefficients α (voir section 2.3). Le tableau 2.1 résume les attentes quant aux signes.

Tableau 2.1 Signes attendus des coefficients du proxy

Proxy du LRE		Signe des coefficients $\alpha\beta$			
Nom de la variable	Signe attendu de α	Pays d'origine		Pays de destination	
		$\beta_{lre}^{ori} > 0$	$\beta_{lre}^{ori} < 0$	$\beta_{lre}^{des} > 0$	$\beta_{lre}^{des} < 0$
$\ln so2pib$	$\alpha_{lre} \equiv +1$	+	-	+	-
$\ln pibcap$	$\alpha_{pic} : ?$?	?	?	?
$\ln cepib$	$\alpha_{cep} > 0$	+	-	+	-
$ivapib$	$\alpha_{iva} > 0$	+	-	+	-
$\ln qcopib$	$\alpha_{qco} > 0$	+	-	+	-
$shng_elprod$	$\alpha_{shng} < 0$	-	+	-	+
S'il existe un effet de havre de pollution, le β_{lre} du pays d'origine devrait être positif, et celui du pays de destination négatif.					

CHAPITRE III

LES DONNÉES

3.1 Données de commerce et de gravité

Les données de commerce et de gravité de notre panel sont celles que Head, Mayer et Ries (2010) fournissent aux fins de réplcation des résultats de leur article¹³. Les variables que nous avons utilisées sont décrites au tableau 3.1. Les données d'exportations sont en millions de \$US courants; l'inclusion d'effets fixes de temps dans le modèle rend inutile la déflation de ces montants par un indice de prix pour les transformer en \$US réels. On trouvera à l'appendice A la liste des pays du panel (tableau A.2).

3.2 Données de commerce désagrégées par secteur

Les données de commerce désagrégées par secteur manufacturier proviennent de de Sousa, Mayer et Zignago (2012)¹⁴. Elles couvrent 26 secteurs manufacturiers à 3 chiffres de la CITI (révision 2) pour 151 pays, de 1980 à 2006. On trouvera la liste des secteurs au tableau A.1 (appendice A).

¹³ On les trouvera à l'adresse http://www.cepii.fr/CEPIL/fr/bdd_modele/presentation.asp?id=8.

¹⁴ Elles sont disponibles à l'adresse <http://www.cepii.fr/anglaisgraph/bdd/TradeProd.htm>.

Tableau 3.1 Données de commerce, de gravité et de relations coloniales

Données de commerce, de gravité et de relations coloniales Head, Mayer et Ries, 2010 (sauf flow_is, voir note ci-bas)		
Variable	Définition	Unités
flow	exportations du pays i au pays j, par année	millions \$US courants
flow_is	exportations du pays i au pays j, par année et par secteur manufacturier	millions \$US courants
pop_o	population du pays d'origine	millions d'habitants
pop_d	population du pays de destination	millions d'habitants
pib_o	PIB du pays d'origine	millions \$US courants
pib_d	PIB du pays de destination	millions \$US courants
wdist	distance géodésique pondérée entre i et j	km
contig	égale à un si i et j ont une frontière commune	binaire
comlang	égale à un si i et j ont une langue officielle commune	binaire
comleg	égale à un si i et j ont un système légal commun	binaire
comcur	égale à un si i et j ont une monnaie commune	binaire
rta	égale à un si i et j font partie d'une entente régionale de commerce	binaire
gatt	égale à un si i et j font partie du GATT	binaire
acp	égale à un si i est une ancienne colonie de j et a un traitement commercial préférentiel en vertu d'une entente de l'ACP (Asia, Carribean and Pacific Group of States)	binaire
col_hist	égale à un si i et j ont une lien colonial passé ou présent	binaire
col_always	égale à un si i et j sont en relation coloniale pendant toute la période d'estimation	binaire
indep _n	égale à 1 lorsque i et j sont indépendants depuis n années, ou n = 1, ..., 59 années	binaires
indep60plus	égale à 1 lorsque i et j sont indépendants depuis 60 ans et plus	binaire
Les données de commerce par secteur manufacturier proviennent de la base de données « TradeProd » du CEPII. Voir de Sousa, Mayer et Zignago (2012).		

3.3 Données d'émissions de SO₂

Les données d'émission de SO₂ proviennent de la base de données EDGAR (Emissions Database for Global Atmospheric Research), version 4.2¹⁵. Ce sont des données compilées à partir de rapports soumis par les 195 pays signataires de la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC¹⁶). Une partie importante des informations fournies dans ces rapports sont des statistiques sur les émissions et les retraits nationaux de gaz à effet de serre (GES). Il ne s'agit pas seulement du CO₂, mais de toutes les substances qui contribuent à l'effet de serre¹⁷. Les catégories de substances visées sont : les GES eux-mêmes; les précurseurs d'ozone; les gaz acidifiants; les particules primaires; et les substances qui attaquent la couche d'ozone stratosphérique. Le CO₂ fait partie de la première catégorie, et le SO₂ est un gaz acidifiant.

Les émissions sont calculées à partir de facteurs d'émission basés sur les technologies utilisées dans chaque secteur. Elles sont rapportées selon des catégories définies à cette fin par le Groupe intergouvernemental d'experts sur le climat (GIEC¹⁸) : énergie (combustion); procédés industriels (sauf la combustion); usage de solvants et d'autres produits; agriculture; changements d'usage de la terre et foresterie; déchets; et autres. À l'intérieur des catégories « énergie » et « procédés industriels », les émissions sont rapportées selon les catégories de CITI, révision 3. Pour obtenir les émissions totales par secteur, on doit alors additionner celles des catégories « énergie » et « procédés industriels ». Éventuellement, il serait intéressant de faire correspondre ces données sectorielles d'émissions aux exportations sectorielles de notre panel. Ces dernières sont classées selon la révision 2 de la CITI. Pour pouvoir transposer les données d'émissions de la CITI révision 3 à la CITI révision 2, il faudrait qu'elles soient désagrégées jusqu'au niveau à quatre chiffres. Elles ne sont cependant déclarées qu'au niveau des divisions à 3 chiffres dans les rapports des pays de la CCNUCC.

¹⁵ Voir <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/index.php>. Europa.eu est le site web officiel de l'UE.

¹⁶ En anglais : United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).

¹⁷ Voir <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/methodology.php> pour plus de détails.

¹⁸ En anglais : Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Il faudrait donc plutôt transformer nos données sectorielles d'exportation de la révision 2 à la révision 3. Ceci pourrait faire partie d'une poursuite de la présente étude.

Les données d'émissions totales par pays et par année telles qu'utilisées ici sont en Gg (gigagrammes, i.e. 10^9 g)¹⁹.

3.4 Données de production d'électricité et autres

Les données relatives à la production d'électricité à partir de diverses sources d'énergie proviennent de la banque de données « World Development Indicators » de la Banque mondiale²⁰. Nous avons également tiré de cette banque de données une série de consommation d'énergie par unité de PIB (intensité énergétique), ainsi qu'une série de valeur ajoutée manufacturière en pourcentage du PIB, toutes deux par pays et par année. Les variables utilisées sont décrites au tableau 3.2.

Tableau 3.2 Données de production d'électricité et autres (WDI)

Données de production d'électricité et autres données tirées des « World Development Indicators » de la Banque Mondiale		
Nom de variable WDI	Notre nom de variable	Description
EG.ELC.PROD.KH	elprod	Production totale d'électricité (kWh)
EG.ELC.COAL.KH	qc	Production d'électricité à partir de charbon (kWh)
EG.ELC.HYRO.KH	qh	Production d'hydroélectricité (kWh)
EG.ELC.NGAS.KH	qng	Production d'électricité à partir de gaz naturel (kWh)
EG.ELC.PETR.KH	qo	Production d'électricité à partir de pétrole (kWh)
EG.USE.COMM.GD.PP.KD	cepib	Utilisation d'énergie (kg équivalent pétrole) par \$1,000 PIB (\$ constants PPA de 2005)
NV.IND.TOTL.ZS	ivapib	Valeur ajoutée manufacturière (% du PIB)

¹⁹ Voir <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/methodology.php> et <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/faq.php>. La référence du tableau d'où nous avons tiré les données d'émissions totales de SO₂ par pays et par année est : v4.2_SO2_tot_1970_2008.xls.

²⁰ Voir <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>.

Les données d'intensité énergétique et d'intensité en capital de chaque secteur manufacturier proviennent de la banque de données « Manufacturing Industry Database » du NBER-CES, qui est décrite dans une note technique par Becker, Gray et Marvakov (2013)²¹. Ces données ont été obtenues pour le secteur manufacturier des États-Unis, mais faute de données sur les autres pays, nous avons supposé que les secteurs manufacturiers ont les mêmes intensités énergétique et de capital dans tous les pays. L'intensité énergétique d'un secteur est le rapport de sa dépense réelle en électricité et en carburant sur sa valeur ajoutée réelle. Kahn et Yoshino (2004) ont utilisé cet indice dans leur étude des havres de pollution à l'intérieur et à l'extérieur des zones d'ententes de commerce. D'autre part, l'intensité en capital d'un secteur est le rapport de la valeur de son capital réel (structures) sur sa valeur ajoutée réelle. Le tableau A.3 de l'appendice A donne les intensités énergétiques et de capital des secteurs manufacturier.

Finalement, on trouvera au tableau 3.3 des statistiques sommaires des variables du modèle.

²¹ On peut télécharger ces données au <http://www.nber.org/data/nberces5809.html>.

Tableau 3.3 Statistiques sommaires des variables du modèle

Variable	Unités	Observations	Moyenne	Écart-type	Min	Max
<u>Variables de gravité</u>						
flow_is	millions \$US	3 774 674	24,38	325,75	0,01	74 786,46
wdist	km	3 877 149	6 544,84	4 460,64	60,77	19 781,39
pop_o	millions habitants	3 862 247	78,63	205,87	0,02	1 311,80
pop_d	millions habitants	3 842 619	49,44	149,88	0,02	1 311,80
pibcap_o	US\$/habitant	3 806 035	11 920,25	11 960,85	62,95	89 563,63
pibcap_d	US\$/habitant	3 748 333	9 107,75	11 143,20	62,95	89 563,63
contig	binaire	3 877 149	0,0452	0,2078	0	1
comlang	binaire	3 877 149	0,1766	0,3814	0	1
comleg	binaire	3 877 149	0,3297	0,4701	0	1
comcur	binaire	3 877 149	0,0148	0,1206	0	1
rta	binaire	3 877 149	0,1204	0,3254	0	1
gatt	binaire	3 877 149	0,6493	0,4772	0	1
acp	binaire	3 877 149	0,0231	0,1502	0	1
col_hist	binaire	3 877 149	0,0478	0,2134	0	1
col_always	binaire	3 877 149	0,0030	0,0551	0	1
<u>Variables du proxy du LRE</u>						
so2pib_o	kg/\$US	3 764 776	7 629,57	14 443,63	2,44	559 359,80
so2pib_d	kg/\$US	3 711 979	9 174,93	20 570,80	1,25	559 359,80
	kg éq pétrole par 1000 \$ de PIB					
cepib_o	(\$US PPP 2005)	3 546 161	200,76	124,46	7,31	1 725,33
	kg éq pétrole par 1000 \$ de PIB					
cepib_d	(\$US PPP 2005)	3 189 699	219,77	156,82	7,31	1 725,33
	kWh par million					4 387
qcopib_o	\$US	3 592 409	279 946,60	351 218,50	0,00	890,00
	kWh par million					4 387
qcopib_d	\$US	3 226 409	272 319,40	382 319,20	0,00	890,00
ivapib_o	pourcentage	3 490 643	32,09	8,51	4,49	94,43
ivapib_d	pourcentage	3 385 403	31,18	10,65	4,49	94,43
shng_elprod_o	binaire	3 630 316	0,432	0,307	0	1
shng_elprod_d	binaire	3 272 990	0,487	0,332	0	1
<u>Variables d'interaction</u>						
en_vadd_isic	rapport	3 774 674	,054	,055	,001	,596
pl_vadd_isic	rapport	3 774 674	,357	,288	,021	4,487

Les données monétaires sont en \$ courants, sauf spécification contraire.

Les variables avec le suffixe « _o » se rapportent au pays d'origine,
et celles avec « _d » au pays de destination.

CHAPITRE IV

RÉSULTATS

Les premières sections de ce chapitre sont plutôt descriptives : nous y documentons le passage du modèle original, celui de Head, Mayer et Ries (2010), à celui que nous allons utiliser pour notre analyse. Tout au long du processus, nous avons surveillé les coefficients des variables de gravité et des variables coloniales, de même que leurs variances, pour nous assurer qu'elles demeuraient dans les limites du plausible, et que le modèle modifié demeurerait viable.

Nous avons d'abord réduit la période d'estimation, qui est passée de 58 années (1948-2006) à 26 (1980-2006). Le modèle a alors été réestimé avec la spécification alternative DSK-CES, avec ou sans la variable PIB per capita (voir section 2.1). Les résultats sont présentés à la section 4.1. Dans section 4.2, on passe de données agrégées d'exportations par pays à des données désagrégées par secteur manufacturier, tel que décrit à la section 2.2. Ici encore, le modèle est estimé à la fois avec le modèle HMR et avec le modèle DSK. En 4.3, on présente des estimations de différentes versions du proxy du laxisme de la réglementation environnementale avec nos deux modèles.

Le noyau de cette étude et l'analyse des résultats se trouvent à la section 4.4. Les deux modèles y sont réestimés avec des interactions entre les variables du proxy du LRE et les binaires de secteur d'une part, et d'autre part avec des variables représentant l'intensité énergétique et la mobilité des installations de chaque secteur. Le but de ces manipulations est d'abord de mettre au jour l'impact du LRE sur chacun des secteurs, et d'autre part de voir si l'intensité énergétique ou la mobilité modulent l'impact du LRE.

4.1 Modèle de base

Nous avons d'abord reproduit les résultats de Head, Mayer et Ries (2010), qui portent sur les années 1948 à 2006²². Le modèle a ensuite été ré-estimé pour les années 1980 à 2006, pour lesquelles les données d'émissions de SO₂ par pays sont disponibles. Les coefficients des variables de gravité sont demeurés très proches de ceux de la période originale. Nous avons alors estimé le modèle avec la spécification alternative décrite au chapitre précédent, dite DSK, sans et avec le log du PIB par habitant comme variable indépendante. Les résultats sont reproduits au tableau 4.1.

En passant de la spécification HMR à la spécification DSK, pour la période de 1980 à 2006, les coefficients des variables de l'équation de gravité restent à peu près de la même grandeur, sauf celui de *gatt* qui devient deux fois plus petit, passant de 0.113 à 0.054 ($p < 0.01$), et celui de *acp* qui devient négatif, passant de 0.197 à -0.214 ($p < 0.01$), ce qui est contre-intuitif. Lorsqu'on ajoute $\ln pibcap_o$ et $\ln pibcap_d$, les coefficients de $\ln pibcap_o$ et $\ln pibcap_d$ sont beaucoup plus petits que dans le HMR2010 : ils passent de 1.064 à .115 pour le premier et de 0.873 à -0.078 pour le second ($p < 0.01$). Ceci est dû à la normalisation de la variable indépendante par le produit des PIB de *i* et de *j*. Par ailleurs, le coefficient de *gatt* reste très petit, comme dans le DSK-CES sans les PIB par habitant, tandis que celui de *acp* redevient positif, avec une valeur de 0.119 ($p < 0.01$).

Nous passons maintenant à l'introduction de données d'exportations désagrégées par secteur manufacturier.

²² Voir leur tableau 2, colonne (1), à la page 8.

Tableau 4.1 Modèle agrégé, HMR2010 vs DSK/CES

Modèle:	HMR2010		DSK/CES	
Période:	1948-2006	1980-2006	1980-2006	
Spécification:			sans pibcap	avec pibcap
Var. dépendante:	$\ln exp_{ijt}$	$\ln exp_{ijt}$	$\ln(exp_{ijt}/pib_{it} * pib_{jt})$	$\ln(exp_{ijt}/pib_{it} * pib_{jt})$
Var. indép.	(1)	(2)	(3)	(4)
\ln_pop_o	0,882 ^a (0,002)	0,942 ^a (0,002)		
\ln_pop_d	0,767 ^a (0,001)	0,794 ^a (0,002)		
\ln_pibcap_o	1,030 ^a (0,002)	1,064 ^a (0,002)		0,115 ^a (0,002)
\ln_pibcap_d	0,868 ^a (0,002)	0,873 ^a (0,002)		-0,078 ^a (0,002)
\ln_wdist	-0,906 ^a (0,003)	-1,025 ^a (0,004)	-1,073 ^a (0,005)	-1,074 ^a (0,004)
contig	0,598 ^a (0,015)	0,771 ^a (0,019)	0,525 ^a (0,020)	0,561 ^a (0,020)
comlang	0,434 ^a (0,008)	0,504 ^a (0,010)	0,659 ^a (0,010)	0,667 ^a (0,010)
comleg	0,306 ^a (0,006)	0,313 ^a (0,008)	0,312 ^a (0,008)	0,327 ^a (0,008)
comcur	0,638 ^a (0,020)	0,463 ^a (0,028)	0,633 ^a (0,031)	0,656 ^a (0,031)
rta	0,868 ^a (0,011)	0,737 ^a (0,013)	0,693 ^a (0,013)	0,687 ^a (0,013)
gatt	0,120 ^a (0,005)	0,113 ^a (0,007)	0,054 ^a (0,007)	0,033 ^a (0,007)
acp	0,156 ^a (0,015)	0,197 ^a (0,017)	-0,214 ^a (0,016)	0,119 ^a (0,016)
col_hist	1,995 ^a (0,069)	1,974 ^a (0,093)	1,942 ^a (0,093)	1,901 ^a (0,096)
col_always	-0,960 ^a (0,133)	-1,046 ^a (0,185)	-0,905 ^a (0,183)	-1,007 ^a (0,195)
observations	592 923	403 935	405 588	403 935
R carré	0,627	0,645	0,280	0,288
stat F	9 771,46	9 306,30	1 728,94	1 740,22
prob > F	0,000	0,000	0,000	0,000
ddl modèle	131	100	96	98
ddl résidus	592 791	403 834	405 491	403 836

Écart-types robustes de White entre parenthèses; ^a $p < 0,01$; ^b $p < 0,05$; ^c $p < 0,1$.

Les coefficients des variables binaires *indep_n*, *indep60plus* et des effets fixes de temps ne sont pas présentés ici.

4.2 Modèle avec exportations désagrégées par secteur manufacturier

Nous avons estimé les modèles avec les données d'exportations désagrégées de l'ensemble des secteurs et des pays. Nous avons inclus des variables de catégorie pour les 26 secteurs, les $isicd_k$, où $k = 1, \dots, 26$. Ce sont les effets fixes de secteur. Les résultats sont présentés au tableau 4.2.

Avec le modèle HMR, lors du passage aux données désagrégées, les coefficients des variables de frictions au commerce gardent des valeurs plausibles, mais la plupart deviennent plus petits qu'avec les données agrégées. Par exemple, le coefficient de $\ln wdist$ passe de -1.025 à -0.751 (tous les coefficients que nous citons maintenant sont significatifs avec $p < 0.01$, sauf avis contraire). Le coefficient de acp change de signe : il passe de 0.197 à -0.434.

Avec le modèle DSK, toujours lors du passage aux données désagrégées, les coefficients des ententes de commerce changent nettement. Celui du rta devient beaucoup plus petit (il passe de 0.693 à 0.136), celui du $gatt$ devient négatif (de 0.054 à -0.189), et celui de acp , déjà négatif, le devient encore plus (de -0.214 à -0.759). Par contre, le coefficient de $\ln wdist$ demeure près de un (-1.058), contrairement à ce qui se passe avec le HMR2010.

Pour le modèle DSK avec $\ln pibcap_o$ et $\ln pibcap_d$, lors du passage aux données désagrégées, les coefficients de $\ln pibcap_o$ et de $\ln pibcap_d$ sont petits et le demeurent, tel qu'anticipé. Les coefficients des variables d'ententes de commerce diminuent toutes, comme dans DSK sans les PIB per capita. Le coefficient de rta passe de 0.687 à 0.411; celui de $gatt$, déjà petit, devient négatif, passant de 0.032 à -0.075; et celui de acp devient lui aussi négatif, passant de 0.119 à -0.346.

Dans le modèle DSK comme dans le modèle HMR, on remarque que les coefficients les plus affectées par le passage aux données désagrégées sont les variables relatives aux accords de commerce.

Tableau 4.2 Modèles avec/sans désagrégation sectorielle des exportations

Modèles HMR vs DSK, exportations agrégées vs désagrégées, 1980-2006						
Modèle:	HMR		DSK			
Spécification:	avec pibcap		sans pibcap		avec pibcap	
Exportations:	agrégées	désagrégées	agrégées	désagrégées	agrégées	désagrégées
Var. dép. :	$\ln exp_{ijt}$	$\ln exp_{ijkt}$	$\ln wexp_{ijt}$	$\ln wexp_{ijkt}$	$\ln wexp_{ijt}$	$\ln wexp_{ijkt}$
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<u>Var. indép.</u>						
ln_pop_o	0,942 ^a (0,002)	0,725 ^a (0,001)				
ln_pop_d	0,794 ^a (0,002)	0,522 ^a (0,001)				
ln_pibcap_o	1,064 ^a (0,002)	0,761 ^a (0,001)			0,115 ^a (0,002)	-0,054 ^a (0,001)
ln_pibcap_d	0,873 ^a (0,002)	0,597 ^a (0,001)			-0,078 ^a (0,002)	-0,286 ^a (0,001)
ln_distw	-1,025 ^a (0,004)	-0,751 ^a (0,001)	-1,073 ^a (0,005)	-1,016 ^a (0,002)	-1,074 ^a (0,004)	-1,005 ^a (0,002)
contig	0,771 ^a (0,019)	0,742 ^a (0,005)	0,525 ^a (0,020)	0,388 ^a (0,006)	0,561 ^a (0,020)	0,226 ^a (0,006)
comlang	0,504 ^a (0,010)	0,376 ^a (0,003)	0,659 ^a (0,010)	0,877 ^a (0,004)	0,667 ^a (0,010)	0,815 ^a (0,004)
comleg	0,313 ^a (0,008)	0,260 ^a (0,003)	0,312 ^a (0,008)	0,458 ^a (0,003)	0,327 ^a (0,008)	0,348 ^a (0,003)
comcur	0,463 ^a (0,028)	0,460 ^a (0,009)	0,633 ^a (0,031)	0,793 ^a (0,011)	0,656 ^a (0,031)	0,758 ^a (0,010)
rta	0,737 ^a (0,013)	0,593 ^a (0,004)	0,693 ^a (0,013)	0,136 ^a (0,004)	0,687 ^a (0,013)	0,411 ^a (0,004)
gatt	0,113 ^a (0,007)	0,139 ^a (0,002)	0,054 ^a (0,007)	-0,189 ^a (0,003)	0,032 ^a (0,007)	-0,075 ^a (0,003)
acp	0,197 ^a (0,017)	-0,434 ^a (0,008)	-0,214 ^a (0,016)	-0,759 ^a (0,009)	0,119 ^a (0,016)	-0,346 ^a (0,009)
observations	403 935	3 593 781	405 588	3 601 627	403 935	3 593 781
R carré	0,645	0,464	0,280	0,329	0,288	0,354
stat F	9 306,30	27 267,95	1 728,94	14 687,37	1 740,22	16 088,19
prob > F	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ddl modèle	100	125	96	121	98	123
ddl résidus	403 834	3 593 655	405 491	3 601 505	403 836	3 593 657

Les régressions avec exportations désagrégées ont été faites avec les données de tous les secteurs et de tous les pays mises ensemble.

Les régressions avec exportations agrégées ont été faites avec des effets fixes de temps, et celles avec exportations désagrégées avec des effets fixes de temps et des effets fixes de secteur.

Les coefficients des variables binaires *indep_n* et *indep60plus*, des effets fixes de temps et des effets fixes de secteur ne sont pas présentés ici.

Écart-types robustes de White entre parenthèses; ^a p<0,01; ^b p<0,05; ^c p<0,1.

Finalement, les effets fixes de secteur sont tous très significatifs. Ils captent l'impact d'éventuelles variables omises qui varieraient entre les secteurs mais qui seraient constantes dans le temps et à travers les pays.

4.3 Modèle HMR désagrégré avec proxy du LRE

Nous introduisons maintenant dans nos deux modèles un proxy du laxisme de la réglementation environnementale. Ce proxy doit servir à capter l'impact des différences de réglementation environnementale entre les pays.

Les résultats de l'ajout des variables du proxy du LRE au modèle HMR désagrégré sont présentés au tableau 4.3. Le lecteur gardera en tête la section 2.3 du mémoire pour bien comprendre l'histoire racontée par ce tableau. On y passe de la version sans proxy (colonne 1) à une version où le proxy est limité à $\ln so2pib$ (colonne 2), puis à un proxy spécifié avec un prix de l'énergie, mais d'où ce prix a été omis (colonne 3), pour voir quel est l'impact de cette omission. À la colonne 4, on ajoute $\ln shng_elprod$ pour pallier à l'absence de P_E . À la colonne 5, on propose un proxy dont la spécification est basée non pas sur P_E mais sur $\ln cepib$, l'intensité énergétique du pays, pour éviter le problème de variable omise posé par l'absence d'une variable de prix de l'énergie. À la colonne 6, on trouve la version complète du proxy, dite « toute garnie ». Finalement, à la colonne 7, on trouve aussi la spécification « toute garnie » du proxy mais avec le modèle DSK plutôt qu'avec le HMR, pour pouvoir comparer les résultats. Rappelons qu'il s'agit d'une estimation avec les données de l'ensemble des secteurs et des pays mises ensemble, de même qu'avec des effets fixes de temps et de pays.

L'ajout des variables du proxy déstabilise-t-il les coefficients des variables de gravité? En gros, la réponse est non : les coefficients de la plupart des variables de gravité gardent des valeurs plausibles pendant l'exercice. On observe cependant que la valeur des coefficients de la plupart des variables de gravité augmente plus ou moins régulièrement au fur et à mesure qu'on ajoute des variables au proxy, i.e. lorsqu'on passe de la colonne 1 à la colonne 6. L'augmentation la plus importante de la valeur des coefficients des variables de gravité se produit lorsqu'on passe de la version limitée à $\ln so2pib$ (colonne 2) à la version basée sur

P_E mais avec omission de P_E (colonne 3). Lorsqu'on ajoute $\ln shng_elprod$ à cette spécification pour pallier à l'absence de P_E (colonne 4), les résultats ne changent que très peu. Ceci ne plaide pas en faveur de la validité de cette spécification du proxy.

La relative instabilité des coefficients d'ententes de commerce se confirme encore ici alors qu'on passe d'une spécification à l'autre. Le coefficient qui change le plus est celui de $gatt$, qui triple presque : il passe de 0.139 à 0.395 entre les colonnes 1 et 6. Celui de acp est négatif et le demeure : il passe de -0.434 à -0.585.

Entre le modèle HMR et le modèle DSK (colonnes 6 et 7), les coefficients des variables de gravité changent un peu. Outre ceux de $\ln pibcap_o$ et $\ln pibcap_d$, qui bien sûr deviennent beaucoup plus petits, les plus différents sont ceux de l'indicateur de contiguïté, qui diminue presque de moitié (de 0.850 à 0.445), et celui de rta , qui diminue de moitié (de 0.434 à 0.219). Les coefficients de $gatt$ et de acp ne changent pratiquement pas.

Avec le modèle HMR, le coefficient du LRE (β_{lre}) n'a le signe attendu d'un effet de havre de pollution que lorsque le proxy est limité aux émissions de SO_2 (colonne 2), et ceci seulement pour le pays d'origine. Avec l'ajout des autres variables du proxy, le β_{lre} du pays d'origine devient négatif, avec des valeurs allant de -0.078 à -0.090 ($p < 0.01$). Le β_{lre} du pays de destination est positif et significatif dans tous les cas, mais plus petit : 0.012 à 0.045.

Il n'est pas évident d'expliquer les valeurs négatives de β_{lre}^{ori} , d'autant plus qu'au-delà d'un éventuel effet de havre de pollution, on s'attend à ce que les émissions augmentent avec la production et les exportations puisqu'elles proviennent des processus de production eux-mêmes. Ceci dit, on ne s'attend à observer un effet de havre de pollution que dans certains secteurs. Comme dans les régressions du tableau 4.3, on n'estime qu'un seul coefficient du LRE pour tous les secteurs confondus, il n'est pas si surprenant de ne pas avoir un coefficient du « bon » signe.

Tableau 4.3 Modèle désagrégé : spécification du proxy du LRE

Var. dépendantes	Modèle HMR désagrégé, avec différentes spécifications du proxy						
	sans proxy	proxy limité à ln_so2pib	HMR			spécification toute garnie	DSK spécification toute garnie
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
ln_pop_o	0,725 ^a (0,001)	0,727 ^a (0,001)	0,813 ^a (0,001)	0,807 ^a (0,001)	0,817 ^a (0,001)	0,812 ^a (0,001)	
ln_pop_d	0,522 ^a (0,001)	0,521 ^a (0,001)	0,572 ^a (0,001)	0,572 ^a (0,001)	0,567 ^a (0,001)	0,568 ^a (0,001)	
ln_pibcap_o	0,761 ^a (0,001)	0,781 ^a (0,001)	0,826 ^a (0,002)	0,785 ^a (0,002)	0,836 ^a (0,002)	0,795 ^a (0,002)	-0,060 ^a (0,002)
ln_pibcap_d	0,597 ^a (0,001)	0,615 ^a (0,001)	0,662 ^a (0,001)	0,670 ^a (0,001)	0,669 ^a (0,001)	0,678 ^a (0,001)	-0,127 ^a (0,001)
ln_distw	-0,751 ^a (0,001)	-0,757 ^a (0,002)	-0,833 ^a (0,002)	-0,824 ^a (0,002)	-0,836 ^a (0,002)	-0,828 ^a (0,002)	-1,081 ^a (0,002)
contig	0,742 ^a (0,005)	0,725 ^a (0,006)	0,856 ^a (0,007)	0,875 ^a (0,007)	0,831 ^a (0,007)	0,850 ^a (0,007)	0,445 ^a (0,007)
comlang	0,376 ^a (0,003)	0,372 ^a (0,003)	0,299 ^a (0,004)	0,307 ^a (0,004)	0,314 ^a (0,004)	0,321 ^a (0,004)	0,375 ^a (0,005)
comleg	0,260 ^a (0,003)	0,261 ^a (0,003)	0,310 ^a (0,003)	0,329 ^a (0,003)	0,321 ^a (0,003)	0,338 ^a (0,003)	0,401 ^a (0,003)
comcur	0,460 ^a (0,009)	0,489 ^a (0,009)	0,645 ^a (0,011)	0,623 ^a (0,011)	0,652 ^a (0,011)	0,631 ^a (0,011)	0,693 ^a (0,011)
rta	0,593 ^a (0,004)	0,593 ^a (0,004)	0,450 ^a (0,005)	0,443 ^a (0,005)	0,441 ^a (0,005)	0,434 ^a (0,005)	0,219 ^a (0,005)
gatt	0,139 ^a (0,002)	0,162 ^a (0,002)	0,372 ^a (0,003)	0,362 ^a (0,003)	0,407 ^a (0,003)	0,395 ^a (0,003)	0,314 ^a (0,004)
acp	-0,434 ^a (0,008)	-0,395 ^a (0,008)	-0,441 ^a (0,012)	-0,497 ^a (0,012)	-0,529 ^a (0,013)	-0,585 ^a (0,013)	-0,506 ^a (0,013)

La suite apparaît à la page suivante, et les notes sont à la fin du tableau.

Tableau 4.3 Modèle désagrégé : spécification du proxy du LRE (suite)

Modèle HMR désagrégé, avec différentes spécifications du proxy							
HMR							
sans proxy		proxy limité à ln_so2pib	spéc. avec P _E , omission de P _E	spéc. avec P _E , shng rempl. P _E	spéc. sans P _E , avec ln_cepib	spécification toute garnie	DSK
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
Var. dépendantes							
ln_so2pib_o	0,035 ^a (0,001)	-0,078 ^a (0,002)	-0,086 ^a (0,002)	-0,084 ^a (0,002)	-0,090 ^a (0,002)	0,012 ^a (0,002)	
ln_qcopib_o		0,099 ^a (0,001)	0,035 ^a (0,001)	0,096 ^a (0,001)	0,033 ^a (0,001)	-0,023 ^a (0,001)	
shng_elprod_o			-0,486 ^a (0,006)		-0,484 ^a (0,007)	-0,459 ^a (0,007)	
ivapib_o		0,005 ^a (0,000)	0,008 ^a (0,000)	0,005 ^a (0,000)	0,008 ^a (0,000)	0,006 ^a (0,000)	
ln_cepib_o				0,070 ^a (0,004)	0,057 ^a (0,004)	-0,019 ^a (0,004)	
ln_so2pib_d	0,045 ^a (0,001)	0,032 ^a (0,002)	0,030 ^a (0,002)	0,014 ^a (0,002)	0,012 ^a (0,002)	0,289 ^a (0,002)	
ln_qcopib_d		0,052 ^a (0,001)	0,062 ^a (0,001)	0,058 ^a (0,001)	0,070 ^a (0,001)	-0,122 ^a (0,001)	
shng_elprod_d			0,070 ^a (0,006)		0,087 ^a (0,006)	0,075 ^a (0,006)	
ivapib_d		-0,001 ^a (0,000)	-0,001 ^a (0,000)	-0,001 ^a (0,000)	-0,002 ^a (0,000)	-0,002 ^a (0,000)	
ln_cepib_d				0,106 ^a (0,003)	0,106 ^a (0,003)	-0,089 ^a (0,003)	

La suite apparaît à la page suivante, et les notes sont à la fin du tableau.

Tableau 4.3 Modèle désagrégé : spécification du proxy du LRE (suite et fin)

Modèle HMR désagrégé, avec différentes spécifications du proxy						
sans proxy	proxy limité à ln so2pib	HMR			DSK	
		spéc. avec P_E , omission de P_E	spéc. avec P_E , shng rempl. P_E	spéc. sans P_E , avec ln cepib	spécification toute garnie	spécification toute garnie
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
observations	3 593 781	2 321 227	2 321 227	2 239 451	2 239 451	2 239 451
R carré	0,464	0,497	0,498	0,500	0,501	0,370
stat F	27 267,95	21 487,58	21 251,35	20 784,92	20 555,91	10 558,35
prob > F	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ddl modèle	125	131	133	133	135,0000	133
ddl résidus	3 593 655	2 321 095	2 321 093	2 239 317	2 239 315	2 239 317

Les régressions de ce tableau ont été faites avec les données de tous les secteurs et de tous les pays mises ensemble, ainsi qu'avec des effets fixes de temps et de secteur.

La variable dépendante est $\ln exp_{ijkt}$ dans le modèle HMR et $\ln wexp_{ijkt}$ dans le modèle DSK.

Les coefficients des variables binaires $indep_n$ et $indep60plus$, des effets fixes de temps et de secteur ne sont pas présentés ici.

Pour la spécification du proxy avec/sans P_E , voir le texte.

Écart-types robustes de White entre parenthèses; ^a $p < 0,01$; ^b $p < 0,05$; ^c $p < 0,1$.

Par ailleurs, avec le modèle DSK, le β_{lre} du pays d'origine est positif et significatif, mais petit (0.012). Celui du pays de destination est lui aussi positif, avec la valeur surprenante de 0.289 ($p < 0.01$).

Finalement, les coefficients des variables du proxy du LRE (les $\alpha\beta$) sont tous très significatifs ($p < 0.01$), mais petits. Nous discuterons du signe des α à la section suivante, lorsque le modèle sera complet.

4.4 LRE et effet de havre de pollution

Rappelons d'abord que le proxy du *lre* se rapporte aux pays entiers, tant pour le pays d'origine que pour le pays de destination. Ceci peut être interprété de la façon suivante : le laxisme de la politique environnementale est le résultat de l'interaction de l'offre et de la demande de qualité environnementale dans un pays, et elle reflète une attitude nationale vis-à-vis de la qualité de l'environnement.

Avec le modèle tel que spécifié à la section précédente, il n'était toujours pas possible d'identifier l'impact du LRE sur les exportations de chaque secteur pris individuellement. Le coefficient du LRE se rapporte à l'ensemble des secteurs, et les coefficients des binaires de secteur, lorsque celles-ci sont égales à un, s'additionnent tout simplement à la constante de la régression pour donner une constante sectorielle, sans plus. Cependant, différents secteurs sont susceptibles de réagir différemment au LRE d'un pays. Une première approche empirique est de faire interagir les binaires de secteur avec le LRE. Le coefficient du terme d'interaction peut alors être additionné à celui de $\ln so2pib$ de ce secteur, pour le pays d'origine ou de destination, pour donner l'impact spécifique du LRE dans ce secteur (voir la section 2.6).

D'autre part, pour qu'un effet de havre de pollution (EHP) se manifeste, il faut non seulement qu'il y ait laxisme relatif de la réglementation environnementale, mais il faut aussi que le processus de production soit suffisamment polluant pour imposer un coût de contrôle de la pollution qui soit significatif. Il faut de plus qu'il soit physiquement et financièrement possible de relocaliser les installations. Par exemple, bien qu'une aciérie soit polluante, la relocaliser est un investissement majeur : les installations de cette industrie sont peu mobiles.

Il est donc approprié de compléter notre modèle en y ajoutant deux variables sectorielles : une d'intensité de pollution et une autre de mobilité. Ces variables peuvent alors être interagies avec le proxy du LRE.

Comme proxy de l'intensité de pollution de chaque secteur, nous utilisons un indice de l'intensité énergétique de ce secteur. Ce choix se justifie par la corrélation qui existe entre l'intensité énergétique d'un secteur et l'intensité de sa pollution telle que mesurée par toute une variété d'indicateurs relatifs à des polluants spécifiques ou à des catégories de polluants (voir section 2.3). Quant à l'indice de mobilité, il s'agit en fait d'un indice d'intensité en capital des différents secteurs. Ederington, Levinson et Minier (2005) utilisent un tel indice dans leur étude de l'impact de la réglementation environnementale sur le commerce international. Ils font l'essai de trois indices de mobilité sectorielle : l'intensité en capital fixe, un indice de coût de transport et un indice d'économies d'agglomération. Ils trouvent une interaction significative entre la mobilité et les coûts environnementaux avec les deux premiers indices, et une interaction du bon signe mais non significative avec l'indice d'économies d'agglomération. Quand ils utilisent dans une même régression des interactions avec les trois types d'indices, celui qui demeure significatif est l'indice d'intensité de capital. C'est celui que nous avons choisi pour notre étude.

On trouvera à l'appendice A un tableau de l'intensité énergétique et de la mobilité des secteurs (tableau A.3). Les cinq secteurs qui ont la plus grande intensité énergétique sont les suivants : pétrole, fer et acier, métaux non ferreux, chimie, et autres non métalliques²³. Ce sont également les cinq secteurs les moins mobiles. Les cinq secteurs ayant la plus petite intensité énergétique sont : machines sauf électriques, chaussures, précision, machines électriques, et tabac. Ce sont aussi des secteurs relativement mobiles : leur rang de mobilité est, dans le même ordre : 11, 14, 7 2 et 3 (voir tableau A.3). Pour l'ensemble des secteurs, le coefficient de corrélation de rang de Spearman entre les deux indices est de -0.765, avec $p < 0.001$. C'est dire que les secteurs les plus polluants tendent aussi à être les moins mobiles. Nous reviendrons plus bas sur ce point.

²³ Fabrication d'autres produits minéraux non métalliques.

Les résultats de l'estimation des modèles HMR et DSK avec et sans les interactions sont présentés aux tableaux 4.4, 4.5 et 4.6. Au tableau 4.4, on donne d'abord pour chaque modèle les résultats des régressions sans interaction (colonnes 1 et 5), aux fins de comparaison, puis ceux des régressions avec interaction des effets fixes de secteur avec le LRE (colonnes 2 et 6), puis avec interaction du LRE avec l'intensité énergétique et la mobilité (colonnes 3 et 7), et finalement avec toutes ces interactions (colonnes 4 et 8).

À l'intérieur de chacune des variations du modèle, l'ajout des interactions ne change pratiquement pas les coefficients des variables gravité. Les interactions elles-mêmes sont pratiquement toutes très significatives. Elles ne sont pas présentées au tableau 4.4 pour économiser l'espace. Les résultats spécifiques aux interactions seront présentés dans les deux prochaines sous-sections.

Encore au tableau 4.4, on remarque que les coefficients du LRE (ceux de $\ln so2pib_o$ et de $\ln so2pib_d$) changent à mesure qu'on ajoute les interactions. Comme le modèle souffrirait d'un problème de variables omises sans les effets fixes de secteur, l'intensité de la pollution et la mobilité, nous croyons qu'il ne faut pas trop s'inquiéter de ces changements, et que la « bonne » version est celle avec les trois variables et leurs interactions.

Dans la version avec toutes les interactions, les coefficients estimés des variables du proxy n'ont pas le signe attendu²⁴ dans environ la moitié des cas. Ceci n'est pas surprenant pour le PIB per capita puisqu'il peut agir sur les exportations de deux façons : directement, en augmentant leur valeur ajoutée, et indirectement, parce qu'elles peuvent diminuer lorsque le LRE diminue s'il y a un EHP (voir section 2.3). Son signe est donc *a priori* indéterminé. Pour les autres variables, le mauvais signe de la moitié des coefficients estimés pourrait être le signe d'un manque de robustesse dû à la spécification du LRE. Nous y reviendrons.

²⁴ Le signe attendu des coefficients des variables du proxy est donné au tableau 2.1.

Tableau 4.4 Modèles HMR et DSK avec LRE, avec et sans interactions

	HMR						DSK					
	sans inter.			interactions de LRE avec :			sans inter.			interactions de LRE avec :		
	isic	en_vadd_isic	pl_vadd_isic	isic	en_vadd_isic	pl_vadd_isic	isic	en_vadd_isic	pl_vadd_isic	isic	en_vadd_isic	pl_vadd_isic
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)				
<u>Var. indépendantes :</u>												
ln_pop_o	0,812 ^a (0,001)	0,832 ^a (0,001)	0,815 ^a (0,001)	0,833 ^a (0,001)								
ln_pop_d	0,568 ^a (0,001)	0,581 ^a (0,001)	0,568 ^a (0,001)	0,583 ^a (0,001)								
ln_distw	-0,828 ^a (0,002)	-0,857 ^a (0,002)	-0,827 ^a (0,002)	-0,856 ^a (0,002)	-1,081 ^a (0,002)	-1,097 ^a (0,002)	-1,079 ^a (0,002)	-1,094 ^a (0,002)				
contig	0,850 ^a (0,007)	0,827 ^a (0,006)	0,846 ^a (0,007)	0,826 ^a (0,006)	0,445 ^a (0,007)	0,443 ^a (0,007)	0,442 ^a (0,007)	0,442 ^a (0,007)				
comlang	0,321 ^a (0,004)	0,339 ^a (0,004)	0,325 ^a (0,004)	0,349 ^a (0,004)	0,375 ^a (0,005)	0,390 ^a (0,005)	0,379 ^a (0,005)	0,401 ^a (0,005)				
comleg	0,338 ^a (0,003)	0,364 ^a (0,003)	0,340 ^a (0,003)	0,362 ^a (0,003)	0,401 ^a (0,003)	0,424 ^a (0,003)	0,402 ^a (0,003)	0,421 ^a (0,003)				
comeur	0,631 ^a (0,011)	0,675 ^a (0,010)	0,612 ^a (0,011)	0,681 ^a (0,010)	0,693 ^a (0,011)	0,736 ^a (0,011)	0,671 ^a (0,011)	0,740 ^a (0,011)				
rita	0,434 ^a (0,005)	0,446 ^a (0,005)	0,439 ^a (0,005)	0,444 ^a (0,005)	0,219 ^a (0,005)	0,243 ^a (0,005)	0,224 ^a (0,005)	0,241 ^a (0,005)				
gatt	0,395 ^a (0,003)	0,398 ^a (0,003)	0,397 ^a (0,003)	0,400 ^a (0,003)	0,314 ^a (0,004)	0,321 ^a (0,004)	0,321 ^a (0,004)	0,331 ^a (0,004)				
acp	-0,585 ^a (0,013)	-0,541 ^a (0,012)	-0,564 ^a (0,013)	-0,553 ^a (0,012)	-0,506 ^a (0,013)	-0,475 ^a (0,012)	-0,489 ^a (0,013)	-0,492 ^a (0,012)				

La suite apparaît à la page suivante, et les notes sont à la fin du tableau.

Tableau 4.4 Modèles HMR et DSK avec LRE, avec et sans interactions (suite)

Var. indépendantes :	HMR				DSK			
	sans inter.		interactions de LRE avec :		sans inter.		interactions de LRE avec :	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
		isic	en_vadd_isic pl_vadd_isic	isic en_vadd_isic pl_vadd_isic		isic	en_vadd_isic pl_vadd_isic	isic en_vadd_isic pl_vadd_isic
ln_so2pib_o	-0,090 ^a (0,002)	0,023 ^b (0,009)	0,306 ^a (0,008)	-0,277 ^a (0,026)	0,012 ^a (0,002)	0,118 ^a (0,009)	0,397 ^a (0,008)	-0,186 ^a (0,027)
ln_pibcap_o	0,795 ^a (0,002)	0,770 ^a (0,006)	0,680 ^a (0,006)	0,661 ^a (0,019)	-0,060 ^a (0,002)	-0,102 ^a (0,007)	-0,175 ^a (0,006)	-0,209 ^a (0,020)
ln_qcopib_o	0,033 ^a (0,001)	0,034 ^a (0,006)	-0,096 ^a (0,005)	-0,140 ^a (0,016)	-0,023 ^a (0,001)	-0,013 ^b (0,006)	-0,149 ^a (0,005)	-0,171 ^a (0,017)
shng_elprod_o	-0,484 ^a (0,007)	0,515 ^a (0,027)	0,597 ^a (0,022)	-0,693 ^a (0,078)	-0,459 ^a (0,007)	0,587 ^a (0,028)	0,657 ^a (0,023)	-0,529 ^a (0,081)
iva_pib_o	0,008 ^a (0,000)	-0,016 ^a (0,001)	0,023 ^a (0,001)	0,009 ^a (0,002)	0,006 ^a (0,000)	-0,020 ^a (0,001)	0,021 ^a (0,001)	0,005 ^b (0,003)
ln_cepib_o	0,057 ^a (0,004)	-0,057 ^a (0,014)	0,358 ^a (0,013)	0,851 ^a (0,043)	-0,019 ^a (0,004)	-0,143 ^a (0,015)	0,326 ^a (0,013)	0,843 ^a (0,045)
ln_so2pib_d	0,012 ^a (0,002)	-0,104 ^a (0,009)	-0,119 ^a (0,007)	-0,043 ^c (0,023)	0,289 ^a (0,002)	0,171 ^a (0,009)	0,178 ^a (0,007)	0,300 ^a (0,024)
ln_pibcap_d	0,678 ^a (0,001)	0,594 ^a (0,006)	0,538 ^a (0,005)	0,684 ^a (0,017)	-0,127 ^a (0,001)	-0,220 ^a (0,006)	-0,252 ^a (0,005)	-0,096 ^a (0,017)
ln_qcopib_d	0,070 ^a (0,001)	0,092 ^a (0,005)	0,114 ^a (0,004)	0,121 ^a (0,015)	-0,122 ^a (0,001)	-0,096 ^a (0,006)	-0,089 ^a (0,004)	-0,004 (0,015)
shng_elprod_d	0,087 ^a (0,006)	-0,302 ^a (0,026)	-0,177 ^a (0,021)	-0,051 (0,074)	0,075 ^a (0,006)	-0,361 ^a (0,027)	-0,157 ^a (0,021)	0,461 ^a (0,077)
iva_pib_d	-0,002 ^a (0,000)	0,006 ^a (0,001)	0,001 ^a (0,000)	0,002 (0,002)	-0,002 ^a (0,000)	0,006 ^a (0,001)	0,001 ^a (0,001)	-0,004 ^c (0,002)
ln_cepib_d	0,106 ^a (0,003)	0,148 ^a (0,014)	-0,056 ^a (0,011)	0,104 ^a (0,038)	-0,089 ^a (0,003)	-0,041 ^a (0,014)	-0,274 ^a (0,011)	-0,019 (0,040)

La suite apparaît à la page suivante, et les notes sont à la fin du tableau.

4.4.1 Interactions entre le LRE et les effets fixes de secteur

Pour les régressions avec toutes les interactions (colonnes 4 et 8 du tableau 4.4), nous avons additionné les coefficients des interactions entre les effets fixes de secteurs et le LRE d'une part, avec ceux du LRE d'autre part, pour calculer ce que nous appellerons tout simplement les coefficients bêta. Ils représentent l'effet spécifique du LRE pour chaque secteur. On les trouvera au tableau 4.5.

Pour les pays d'origine, les résultats obtenus avec les deux modèles sont très semblables. Avec le HMR, trois secteurs ont un coefficient bêta positif, donc susceptible d'être interprété comme un EHP : ceux des métaux non ferreux (0.521), du bois (0.118) et du papier (0.065). Avec le DSK, les trois mêmes secteurs ont des bêta positifs, avec respectivement 0.609, 0.202 et 0.159 (tous avec $p < 0.01$), plus un autre secteur, celui des meubles (0.064, $p < 0.05$). Toujours pour les pays d'origine, si on calcule le coefficient de Spearman entre le rang des coefficients bêta des secteurs pour les modèles HMR vs DSK, on obtient 0.9959 ($p < 0.001$)²⁵. Il est intéressant de voir que les résultats sont robustes par rapport à ce changement de spécification.

Pour les pays de destination, c'est un coefficient bêta négatif qui peut être interprété comme un EHP. Avec le HMR, bêta est négatif dans cinq secteurs : métaux non ferreux (-0.306), chimie (-0.068), pétrole (-0.060), alimentation (-0.043) et fer/acier (-0.021). Avec le DSK, aucun secteur n'a un coefficient bêta négatif, ce qui est surprenant au vu de l'accord des résultats entre le HMR et le DSK pour les pays d'origine. Malgré cela, le coefficient de rang de Spearman pour les coefficients bêta des secteurs entre les deux modèles est ici aussi très élevé : 0.9432 ($p < 0.001$).

²⁵ Voir au bas du tableau 4.5.

Tableau 4.5 Coefficients bêta, pays d'origine ou de destination, du plus grand au plus petit

secteur (CITI révision 2)		pays d'origine						pays de destination					
		HMR			DSK			HMR			DSK		
		rang	coefficient	rang	coefficient	rang	coefficient	rang	coefficient	rang	coefficient	rang	coefficient
code	nom												
311	Alimentation	8	-0,277 ^a	8	-0,186 ^a	4	-0,043 ^c	5	0,300 ^a				
313	Boissons	10	-0,295 ^a	9	-0,202 ^a	13	0,098 ^a	14	0,449 ^a				
314	Tabac	11	-0,363 ^a	11	-0,267 ^a	26	0,440 ^a	26	0,872 ^a				
321	Textiles	16	-0,497 ^a	16	-0,425 ^a	14	0,098 ^a	13	0,432 ^a				
322	Habillement	17	-0,533 ^a	17	-0,454 ^a	21	0,137 ^a	22	0,512 ^a				
323	Cuir	13	-0,384 ^a	13	-0,324 ^a	16	0,122 ^a	23	0,517 ^a				
324	Chaussures	18	-0,546 ^a	19	-0,467 ^a	12	0,089 ^a	16	0,463 ^a				
331	Bois	2	0,118 ^a	2	0,202 ^a	6	0,008	8	0,394 ^a				
332	Meubles	4	-0,064 ^b	4	0,014	25	0,277 ^a	25	0,660 ^a				
341	Papier	3	0,065 ^a	3	0,159 ^a	7	0,034 ^c	6	0,346 ^a				
342	Imprimerie	15	-0,496 ^a	15	-0,420 ^a	24	0,176 ^a	24	0,519 ^a				
351	Chimie	6	-0,212 ^a	6	-0,114 ^a	2	-0,068 ^a	2	0,229 ^a				
352	Autre chimie	25	-0,873 ^a	23	-0,785 ^a	9	0,065 ^b	10	0,406 ^a				
353	Pétrole	5	-0,156 ^a	5	-0,087 ^a	3	-0,060 ^a	3	0,257 ^a				
355	Caoutchouc	23	-0,864 ^a	25	-0,799 ^a	22	0,147 ^a	18	0,472 ^a				
356	Plastique	20	-0,633 ^a	20	-0,541 ^a	10	0,068 ^a	7	0,380 ^a				
361	Grès/Porcelaines	14	-0,465 ^a	14	-0,394 ^a	23	0,171 ^a	21	0,505 ^a				
362	Verre	12	-0,368 ^a	12	-0,293 ^a	20	0,135 ^a	15	0,459 ^a				
369	Autre non métallique	9	-0,282 ^a	10	-0,206 ^a	11	0,085 ^a	9	0,398 ^a				
371	Fer/Acier	7	-0,248 ^a	7	-0,166 ^a	5	-0,021	4	0,284 ^a				
372	Métaux non ferreux	1	0,521 ^a	1	0,609 ^a	1	-0,306 ^a	1	0,025				

La suite du tableau apparaît à la page suivante, de même que les notes.

À l'intérieur de chaque modèle, les résultats sont différents entre les pays d'origine et les pays de destination. Avec le HMR, le seul secteur qui a le signe attendu d'un EHP à la fois dans les pays d'origine et les pays de destination est celui des métaux non ferreux; autrement, les résultats sont différents. Avec le DSK, cinq secteurs ont le signe attendu dans les pays d'origine, mais aucun dans les pays de destination. Ceci étonne. Nous n'avons pas d'explication convaincante à offrir pour ces résultats, sinon que la spécification du LRE des pays de destination, qui dans la présente version du modèle est la même que celle des pays de destination, devrait sans doute être repensée – mais comment? Rappelons cependant que lorsqu'un pays de *destination* change ses exportations, celles-ci deviennent en général les importations de plus d'un pays *d'origine*, voire de nombreux pays d'origine. Ces importations diminuent les *exportations* de produits du même secteur par ces (possiblement nombreux) pays d'origine, et l'impact sur chaque pays s'en trouve dilué. Un impact plus petit est plus difficile à identifier à travers les variations des données causées par l'influence des autres variables, les erreurs de mesure et le bruit de fond.

Les secteurs pour lesquels nous avons trouvé un coefficient bêta du signe attendu ne correspondent que peu à ceux qui ont été identifiés dans des études antérieures comme étant sujets à un EHP. Dans leur étude sur les investissements directs à l'étranger des entreprises américaines, Xing et Kolstad (2002) identifient un EHP dans deux industries très polluantes, l'industrie chimique et celle des métaux primaires (i.e. fer/acier). Nous en trouvons un plutôt faible dans la première (DSK, pays de destination), et un très faible et non significatif dans la deuxième (DSK, pays de destination). Par contre, nous trouvons un EHP relativement fort dans les métaux non ferreux, industrie voisine de celle des métaux primaires (HMR et DSK, pays d'origine). Kellenberg (2009), qui modélise la valeur ajoutée des filiales à l'étranger des multinationales américaines, trouve un EHP dans les trois secteurs suivants : alimentation; machinerie; et équipement électriques, électroménagers et pièces. Ces secteurs partagent la caractéristique d'être plus mobiles que les secteurs très polluants mais intensifs en capital comme l'industrie chimique, les métaux primaires ou secondaires. Nous trouvons un EHP faible dans l'alimentation (DSK, pays de destination), mais rien pour les deux autres secteurs. Cette mauvaise correspondance est peut-être attribuable à notre spécification du LRE.

4.4.2 Interactions : LRE vs intensité énergétique et mobilité

Les résultats des interactions des LRE avec l'intensité énergétique ou la mobilité, pour les modèles HMR et de DSK, sont rapportés au tableau 4.6, pour la spécification avec toutes les interactions (colonnes 4 et 8 du tableau 4.4). Elles sont presque toutes très significatives. Avec l'intensité énergétique, les coefficients ont le bon signe pour les pays d'origine et pour les pays de destination, avec HMR ou avec DSK. Pour les pays d'origine, s'il y a EHP, on s'attend à ce que pour une valeur donnée du LRE, une augmentation de l'intensité énergétique (i.e. de l'intensité de la pollution) augmente l'incitation à la relocalisation, et fasse diminuer les exportations. Le signe attendu est donc négatif. C'est ce que nous avons obtenu : le coefficient d'interaction est de -0.165 avec HMR et de -0.172 avec DSK ($p < 0.01$). Pour les pays de destination, une augmentation de l'intensité énergétique pour une valeur donnée du LRE fait diminuer leurs exportations, ce qui fait *augmenter* celles des pays d'origine, toutes choses étant égales par ailleurs. Le signe attendu est alors positif. C'est ce que nous obtenons. On s'attend à ce que l'effet soit plus petit pour les pays de destination, puisque la diminution des exportations du pays de destination se reflètera très probablement sur les importations de plus d'un pays d'origine. On observe en effet des coefficients nettement plus petits qu'avec les pays d'origine : 0.004 (non significatif) avec HMR et 0.028 ($p < 0.01$) avec DSK.

Avec la mobilité, pour interpréter les résultats, il faut se rappeler que quand la mobilité augmente, notre indice *diminue*, puisqu'il s'agit d'un indice de la valeur des immobilisations par rapport à celle de la valeur ajoutée du secteur. Ainsi, pour une valeur donnée du LRE, une augmentation de la mobilité (une *diminution* de l'indice) devrait augmenter la probabilité d'une relocalisation et donc diminuer les exportations des pays d'origine. Le coefficient attendu est alors positif, et c'est ce qu'on observe : 0.188 avec HMR et 0.205 avec DSK ($p < 0.01$). Par contre, une augmentation de la mobilité des secteurs (une baisse de l'indice) dans les pays de destination devrait faire diminuer leurs exportations, donc augmenter celles des pays de destination; le coefficient attendu est négatif. Ce n'est pas ce que nous obtenons : 0.036 pour HMR et 0.032 pour DSK ($p < 0.01$). Pour la mobilité, donc, les résultats des deux modèles ne s'accordent pas.

Tableau 4.6 HMR et DSK : Interaction avec l'intensité énergétique et la mobilité

Modèles HMR et DSK avec LRE : interactions avec l'intensité énergétique et la mobilité		
	HMR	DSK
	(1)	(2)
ln_so2pib_o	-0,277 ^a (0,026)	-0,186 ^a (0,027)
ln_so2pib_d	-0,043 ^c (0,023)	0,300 ^a (0,024)
ln_en_vadd_isic	-1,480 ^a (0,215)	-3,291 ^a (0,225)
ln_pl_vadd_isic	3,104 ^a (0,206)	5,664 ^a (0,216)
c.ln_en_vadd_isic # c.ln_so2pib_o	-0,165 ^a (0,011)	-0,172 ^a (0,011)
c.ln_en_vadd_isic # c.ln_so2pib_d	0,004 (0,010)	0,028 ^a (0,010)
c.ln_pl_vadd_isic # c.ln_so2pib_o	0,188 ^a (0,011)	0,205 ^a (0,011)
c.ln_pl_vadd_isic # c.ln_so2pib_d	0,036 ^a (0,009)	0,032 ^a (0,010)
observations	2 239 451	2 239 451
R carré	0,552	0,434
stat F	8 103,08	4 255,82
prob > F	0,000	0,000
ddl modèle	461	459
ddl résidus	2 238 989	2 238 991

Les régressions de ce tableau sont celles des colonnes 4 et 8 du tableau 4.4.

Écart-types robustes de White entre parenthèses; ^a p<0,01; ^b p<0,05; ^c p<0,1.

4.4.3 Discussion générale des résultats

Nos résultats soulèvent de nombreuses questions. Pourquoi n'avons-nous pas identifié de EHP dans les mêmes secteurs avec les deux modèles? Pourquoi les résultats sont-ils si différents entre les pays d'origine et les pays de destination? Pourquoi les secteurs pour lesquels nous avons trouvé un coefficient bêta du signe attendu ne correspondent-ils que peu à ceux qui ont été identifiés dans des études antérieures comme étant sujets à un EHP? Pourquoi les coefficients d'interaction entre le LRE et la mobilité sont-ils du mauvais signe pour les pays de destination avec les deux modèles? Pourquoi est-ce que les coefficients estimés des variables du proxy n'ont pas le signe attendu²⁶ dans environ la moitié des cas, même quand on tient compte du signe de $\ln so2pib$? Nous croyons qu'il faut remettre en cause la spécification de notre proxy, ou de façon plus large celle du modèle.

La présence du PIB dans quelques variables du proxy crée potentiellement un problème d'endogénéité, puisque les exportations font partie du PIB. Ce problème est probablement moins aigu avec les exportations sectorielles qu'avec les exportations totales, mais on ne peut pas rejeter d'emblée qu'il biaise les résultats. Pour minimiser le problème, on pourrait utiliser une valeur retardée du proxy. Ce retard est aussi justifié par un probable délai de quelques années entre l'augmentation de la demande de qualité de l'environnement (provoquée par une augmentation du PIB per capita) et l'observation d'un éventuel changement au niveau de la production et des exportations, une fois que le gouvernement a ajusté l'offre de pollution et que les entreprises ont fait les changements requis. L'inclusion d'un tel retard serait la prochaine étape d'une poursuite de ce travail.

De nombreux auteurs ont utilisé des variables instrumentales (VI) pour faire face aux divers problèmes d'endogénéité qui sont apparus dans les modèles d'EHP (voir section 1.5). Il serait intéressant d'essayer une telle stratégie avec notre modèle. Le problème devient alors celui du choix des VI.

²⁶ Le signe attendu des coefficients des variables du proxy est donné au tableau 2.1.

L'utilisation d'une variable de substitution pour le laxisme de la politique environnementale soulève de nombreuses questions. Il n'existe malheureusement pas beaucoup d'alternatives. Pour les États-Unis, on dispose de séries de coûts de contrôle de la pollution (PAC, i.e. *pollution abatement costs*) par secteur manufacturier qui couvrent la période 1972 à 1992. Il n'existe pas de données équivalentes dans les autres pays. Kellenberg (2009) utilise les données d'une enquête du Forum économique mondial (Global Competitiveness Report) dans lesquelles on a interrogé des hauts dirigeants de multinationales américaines qui travaillent dans divers pays. En particulier, une question portait sur la rigueur de la réglementation environnementale dans leur pays, et une autre sur la rigueur de l'application de cette réglementation. Kellenberg a pu utiliser les réponses à ces questions dans son étude, qui porte sur 50 pays pour la période 1999-2003. Levinson et Minier (2005) examinent l'impact des normes environnementales sur le commerce des États-Unis avec leurs partenaires commerciaux. Ils divisent ces pays en deux groupes, l'un avec des normes environnementales élevées et l'autre basses. Ils s'y prennent de deux façons. D'une part, ils les séparent selon leur appartenance ou non à l'OCDE. D'autre part, ils utilisent pour les séparer un indice de rigueur environnementale construit par Eliste et Fredriksson (2002). Le résultat est le même dans les deux cas : une augmentation des PAC ne change pas significativement les importations nettes des pays à normes élevées à partir d'autres pays à normes élevées, mais les augmentent significativement pour les importations en provenance de pays à normes basses. À par ces variables ou indicateurs du LRE, il reste essentiellement des variables de substitution basées sur les émissions de divers polluants.

Notre proxy du LRE est basé sur les émissions de SO_2 , mais nous avons vu plus haut que nous aurions tout aussi bien pu prendre les émissions d'un autre polluant ou encore l'intensité énergétique ($\ln \text{cepib}$). Or, nous utilisons justement l'intensité énergétique comme variable explicative dans la fonction d'émission de soufre qui sert de base à notre proxy du LRE. Nous expliquons donc une variable proxy de l'intensité de la pollution par une autre : c'est un argument circulaire! Ceci n'aide peut-être pas à identifier un EHP. Il vaudrait la peine de retourner à une spécification sans l'intensité énergétique par pays ($\ln \text{cepib}$) telle que celle de la colonne 4 du tableau 4.3.

Ce qui influence les exportations de biens « sales » est peut-être la différence entre le LRE du pays d'origine et celui du pays de destination. Implicitement, on fait l'hypothèse que plus cette différence est grande, plus la probabilité qu'un EHP se manifeste est grande. Une spécification de ce type permettrait peut-être de mieux identifier les secteurs sujets à un EHP.

Une autre stratégie intéressante pour l'identification des EHP est l'inclusion dans le modèle de variables binaires pour le commerce nord-sud versus le commerce nord-nord : un EHP est plus susceptible de se produire entre un pays industrialisé (PI) et un pays en voie de développement (PVD) qu'entre deux PI. Par ailleurs, nous avons tenté dans une version antérieure du modèle d'éliminer tous les pays pour lesquels la qualité des données est jugée douteuse dans la version 6.1 des Penn World Table²⁷, pour voir si leur élimination aide à faire ressortir un éventuel EHP. Le modèle ayant beaucoup évolué depuis, il serait intéressant d'essayer ceci de nouveau. Il faut se rappeler cependant que les PVD sont souvent des pays dont les données statistiques sont douteuses, ce qui fait qu'en éliminant les pays à données douteuses, on éliminerait de ce fait de nombreux PVD.

Les données d'émissions de SO₂ que nous avons utilisées sont des données calculées plutôt qu'observées. Est-il possible que de telles données ne comprennent pas les variations nécessaires à la détection de EHPs? Nous ne sommes pas les seuls à avoir utilisé des données calculées : par exemple, Xing et Kolstad (2002) ont utilisé des séries d'émissions de SO₂ construites à partir de données de consommation de carburant (*fuel*) dans le cadre du Programme des Nations-Unies pour l'environnement, et ont détecté des EHP. Nos données ont été compilées à partir de données soumises par les parties prenantes à la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC; voir la section 3.3). A priori, nous ne voyons pas pourquoi nos séries pourraient ne pas refléter des variations dues à des EHP, sauf peut-être si leur marge d'erreur est trop grande pour permettre de révéler des variations de cette ordre.

²⁷ Voir <https://pwt.sas.upenn.edu/Documentation/append61.pdf>.

CONCLUSION

L'objectif de ce mémoire était de voir si l'on pouvait détecter un éventuel effet de havre de pollution dans certains secteurs manufacturiers en se servant d'un modèle de commerce international standard, éprouvé, qui n'a pas été conçu spécifiquement à cette fin. Nous avons choisi pour ce faire le modèle de Head, Mayer et Ries (2010), destiné à identifier l'impact des relations coloniales sur les flux commerciaux. Nous l'avons modifié pour pouvoir modéliser les exportations de chacun de 26 secteurs manufacturiers du pays d'origine, plutôt que les exportations totales comme dans l'original. Pour pallier à l'absence d'une mesure adéquate du laxisme de la réglementation environnementale dans les quelque 200 pays du panel, nous avons construit un proxy inspiré de celui de Xing et Kolstad (2002). Ce proxy comprend comme variables pour chaque pays les émissions de SO_2 par dollar de PIB, la consommation d'énergie par dollar de PIB, la part de la valeur ajoutée manufacturière dans le PIB, la production d'électricité issue du charbon et du pétrole par dollar de PIB, ainsi que la part de l'hydroélectricité et du gaz naturel dans la production totale d'électricité.

Nous avons vu que les résultats obtenus quant à l'identification des secteurs sujets à un possible effet d'EHP sont différents entre les pays d'origine et de destination, de même qu'entre les deux modèles pour les pays de destination. Ceci et d'autres indices (voir section 4.4.3) nous indiquent que la spécification de notre proxy n'est probablement pas adéquate. Nous remettons en question la présence de l'intensité énergétique par pays dans le proxy, qui fait double emploi avec les émissions de SO_2 par dollar de PIB. Nous aimerions faire l'essai d'une valeur retardée du LRE pour pallier à l'endogénéité du PIB, qui apparaît du côté droit de l'équation à la fois dans le PIB per capita et dans le numérateur de plusieurs variables du proxy. Ceci crée potentiellement un problème d'endogénéité. Alternativement, on pourrait pallier à ce problème en utilisant des variables instrumentales. On pourrait par ailleurs tester l'hypothèse qu'un EHP dépend de la grandeur de la différence entre le LRE du pays d'origine et celui de destination. Enfin, l'inclusion d'indicateurs du commerce Nord-Sud et Nord-Nord

permettrait probablement de mieux cibler la recherche d'EHP, puisque ceux-ci sont plus susceptibles de se manifester entre un pays industrialisé et un pays en voie de développement qu'entre deux pays industrialisés.

Les idées ne manquent pas pour une personne désireuse de poursuivre le projet.

APPENDICE A

TABLEAUX SUPPLÉMENTAIRES

Tableau A.1 Secteurs manufacturiers à 3 chiffres de la CITI, révision 2

Code CITI	Nom du secteur	Nom court
311	Industries alimentaires	Alimentation
313	Fabrication des boissons	Boissons
314	Industrie du tabac	Tabac
321	Industrie textile	Textiles
322	Fabrication d'articles d'habillement, à l'exclusion des chaussures	Habillement
323	Industrie du cuir, des articles en cuir et en succédanés du cuir, et de la fourrure, à l'exclusion des chaussures et des articles d'habillement	Cuir
324	Fabrication des chaussures, à l'exclusion des chaussures en caoutchouc vulcanisé ou moulé et des chaussures en matière plastique	Chaussures
331	Industrie du bois et fabrication d'ouvrages en bois et en liège, à l'exclusion des meubles	Bois
332	Fabrication de meubles et d'accessoires, à l'exclusion des meubles et accessoires faits principalement en métal	Meubles
341	Fabrication de papier et d'articles en papier	Papier
342	Imprimerie, édition et industries annexes	Imprimerie
351	Industrie chimique	Chimie
352	Fabrication d'autres produits chimiques	Autres Chimie
353	Raffineries de pétrole	Pétrole
354	Fabrication de divers dérivés du pétrole et du charbon	Dérivés Pétrole
355	Industrie du caoutchouc	Caoutchouc
356	Fabrication d'ouvrages en matière plastique non classés ailleurs	Plastique
361	Fabrication des grès, porcelaines et faïences	Grès/Porcelaines
362	Industrie du verre	Verre
369	Fabrication d'autres produits minéraux non métalliques	Autres Non métalliques

La suite du tableau et les notes de fin de tableau apparaissent à la page suivante.

Tableau A.1 (suite)

Code CITI	Nom du secteur	Nom court
371	Sidérurgie et première transformation de la fonte, du fer et de l'acier	Fer/Acier
372	Production et première transformation des métaux non ferreux	Métaux non ferreux
381	Fabrication d'ouvrages en métaux, à l'exclusion des machines et du matériel	Produits Métalliques
382	Construction de machines, à l'exclusion des machines électriques	Machines
383	Fabrication de machines, appareils et fournitures électriques	Machines électriques
384	Construction de matériel de transport	Transport
385	Fabrication de matériel médico-chirurgical, d'instruments de précision, d'appareils de mesure et de contrôle non classés ailleurs, de matériel photographique et d'instruments d'optique	Précision
390	Autres industries manufacturières	Autres Manufacturier
Les secteurs 354 et 390 n'étaient pas compris dans la banque de données originale, et ne sont pas compris dans notre modèle.		

Tableau A.2 Pays du panel, par continent

Pays du panel, par continent			
Afrique	Amérique	Asie	Europe
Algérie	Antigua-et-Barbuda	Afghanistan	Albanie
Angola	Argentine	Arménie	Andorre
Bénin	Aruba	Azerbaïdjan	Autriche
Botswana	Bahamas	Bahréïn	Biélorussie
Burkina Faso	Barbade	Bangladesh	Belgique et Luxembourg
Burundi	Belize	Bhutan	Bosnie-Herzégovine
Cameroun	Bermudes	Brunéï Darussalam	Bulgarie
Cap Vert	Bolivie	Burma	Croatie
République centrafricaine	Brésil	Cambodge	Chypre
Chad	Canada	Chine	République Tchèque
Comores	Chili	Timor oriental	Tchécoslovaquie
Congo	Colombie	Géorgie	Danemark
République dém. du Congo	Costa Rica	Hong Kong	Estonie
Côte d'Ivoire	Cuba	Inde	Iles Féroé
Djibouti	La Dominique	Indonésie	Finlande
Égypte	République dominicaine	Iran	France
Guinée équatoriale	Équateur	Iraq	Allemagne
Eritrée	Salvador	Israël	Gibraltar
Éthiopie	Iles Falkland	Japon	Grèce
Gabon	Guyane française	Jordanie	Hongrie
Gambie	Groënland	Kazakhstan	Islande
Ghana	Grenade	Corée du Sud	Irlande
Guinée	Guadeloupe	Corée du Nord	Italie
Guinée-Bissau	Guatemala	Koweït	Lettonie
Kenya	Guyana	Kirghizistan	Lituanie
Lesotho	Haiti	Laos	Luxembourg
Liberia	Honduras	Liban	Macédoine

La suite du tableau et les notes de fin de tableau apparaissent à la page suivante.

Tableau A.2 - Pays du panel, par continent (suite)

Afrique	Amérique	Asie	Europe	Pacifique
Lybie	Jamaïque	Macao	Malte	
Madagascar	Martinique	Malaisie	Moldavie	
Malawi	Mexique	Maldives	Pays-Bas	
Mali	Antilles néerlandaises	Mongolie	Norvège	
Mauritanie	Nicaragua	Népal	Pologne	
Ile Maurice	Panama	Oman	Portugal	
Maroc	Paraguay	Pakistan	Roumanie	
Mozambique	Pérou	Philippines	Saint-Marin	
Namibie	Saint-Christophe-et-Niévès	Qatar	Serbie-et-Monténégro	
Niger	Sainte-Lucie	Russie	Slovaquie	
Nigéria	St-Vincent-et-les-Grenadines	Arabie Saoudite	Slovénie	
La Réunion	Saint-Pierre-et-Miquelon	Singapour	Espagne	
Rwanda	Suriname	Sri Lanka	Suède	
Sainte Hélène	Trinidad et Tobago	Syrie	Suisse	
Sao Tomé-et-Principe	États-Unis d'Amérique	Taiwan	Turquie	
Sénégal	Uruguay	Tadjikistan	Ukraine	
Seychelles	Venezuela	Thaïlande	Royaume-Uni	
Sierra Leone		Turkménistan		
Somalie		Émirats Arabes Unis		
Afrique du Sud		Uzbékistan		
Soudan		Vietnam		
Swaziland		Yémen		
Tanzanie				
Togo				
Tunisie				
Uganda				
Zambie				
Zimbabwe				
Total : 55 pays		44 pays	49 pays	15

Les 207 pays du panel n'apparaissent pas dans toutes les régressions. En effet, certains pays n'ont que peu d'observations, et lors du calcul de nouvelles variables, des valeurs manquantes peuvent apparaître. Les observations correspondantes sont alors éliminées des régressions.

Tableau A.3 Intensité énergétique et mobilité des secteurs

Intensité énergétique et mobilité des secteurs manufacturiers					
secteurs (CITI rév. 2)		intensité énergétique		mobilité	
code	Nom	rang	valeur	rang	valeur
353	Pétrole	1	0,169	28	1,026
371	Fer/Acier	2	0,141	27	0,497
372	Métaux non ferreux	3	0,129	25	0,473
351	Chimie	4	0,129	26	0,484
369	Autre non métallique	5	0,105	24	0,368
341	Papier	6	0,101	23	0,363
362	Verre	7	0,091	21	0,332
354	Dérivés du pétrole	8	0,082	13	0,269
321	Textiles	9	0,071	22	0,354
331	Bois	10	0,058	20	0,326
361	Grès/Porcelaines	11	0,055	5	0,215
356	Plastique	12	0,046	4	0,205
311	Alimentation	13	0,039	15	0,271
355	Caoutchouc	14	0,038	19	0,318
323	Cuir	15	0,035	16	0,272
381	Produits métalliques	16	0,034	17	0,276
322	Habillement	17	0,024	1	0,158
332	Meubles	18	0,023	8	0,250
390	Autre manufacturier	19	0,021	9	0,255
313	Boissons	20	0,019	10	0,260
384	Transport	21	0,018	18	0,316
352	Autre chimie	22	0,018	12	0,267
342	Imprimerie	23	0,015	6	0,218
382	Machines	24	0,014	11	0,261
324	Chaussures	25	0,014	14	0,270
385	Précision	26	0,012	7	0,235
383	Machines électriques	27	0,012	2	0,177
314	Tabac	28	0,007	3	0,189

Les secteurs 354 (dérivés du pétrole) et 390 (autre manufacturier) n'apparaissent pas à notre panel : les données de commerce disponibles ne couvraient pas ces secteurs.

L'intensité énergétique d'un secteur est le rapport de sa dépense réelle en électricité et en carburant sur sa valeur ajoutée réelle (voir section 3.4).

L'intensité en capital d'un secteur est le rapport de la valeur de son capital réel (structures) sur sa valeur ajoutée réelle (voir section 3.4).

BIBLIOGRAPHIE

Antweiler, Werner, Brian R. Copeland et M. Scott Taylor. 2001. « Is Free Trade Good for the Environment? ». *The American Economic Review*, vol. 91, no 4, p. 877-908.

Becker, Randy, Wayne Gray et Jordan Marvakov. 2013. *NBER-CES Manufacturing Industry Database: Technical Note*. National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.

Becker, Randy, et Vernon Henderson. 2000. « Effects of Air Quality Regulations on Polluting Industries ». *Journal of Political Economy*, vol. 108, no 2, p. 379-421.

Cave, Lisa A., et Glenn C. Blomquist. 2008. « Environmental Policy in the European Union: Fostering the Development of Pollution Havens? ». *Ecological Economics*, vol. 65, p. 253-261.

Co, Catherine Y., John A. List et Larry D. Qui. 2004. « Intellectual Property Rights, Environmental Regulations, and Foreign Direct Investment ». *Land Economics*, vol. 80, no 2, p. 153-173.

Copeland, Brian R., et M. Scott Taylor. 2004. « Trade, Growth, and the Environment ». *Journal of Economic Literature*, vol. 42, no 1, p. 7-71.

Copeland, Brian R., et Scott Taylor. 2003. *Trade and the Environment – Theory and Evidence*. Princeton University Press.

de Sousa, J., T. Mayer & S. Zignago. 2012. « Market Access in Global and Regional Trade », *Regional Science and Urban Economics*, vol. 42, p. 1037-1052.

Dixit, A., et J. Stiglitz. 1977. « Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity ». *American Economic Review*, vol. 67, p. 297-308.

Ederington, Josh, Arik Levinson et Jenny Minier. 2004. « Trade Liberalization and Pollution Havens ». *Advances in Economic Analysis & Policy*, vol. 4, no 2, p. 1-22.

-----, 2005. « Footloose and Pollution-Free ». *The Review of Economics and Statistics*, vol. 87, no 1, p. 92-99.

Ederington, Josh, et Jenny Minier. 2003. « Is Environmental Policy a Secondary Trade Barrier? An Empirical Analysis ». *The Canadian Journal of Economics*, vol. 36, no 1, p. 137-154.

Eliste, Paavo, et Per G. Fredriksson. 2002. « Environmental Regulations, Transfers and Trade : Theory and Evidence ». *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 105, p. 234-250.

Eskeland, Gunnar S., et Ann E. Harrison. 2003. « Moving to Greener Pastures? Multinationals and the Pollution Haven Hypothesis ». *Journal of Development Economics*, vol. 70, p. 1-23.

European Commission, Joint Research Centre (JRC) / Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL). 2009. Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), release version 4.2.

Fredriksson, Per G., John A. List et Daniel L. Millimet. 2004. « Chasing the Smokestack: Strategic Policymaking with Multiple Instruments ». *Regional Science and Urban Economics*, vol. 34, p. 387-410.

Fredriksson, Per G., et Daniel L. Millimet. 2002. « Strategic Interaction and the Determination of Environmental Policy across U.S. States ». *Journal of Urban Economics*, vol. 51, p. 101-122.

Greenstone, Michael. 2002. « The Impacts of Environmental Regulations on Industrial Activity: Evidence from the 1970 and 1977 Clean Air Act Amendments and the Census of Manufactures ». *Journal of Political Economy*, vol. 110, no 6, p. 1175-1219.

Grether, Jean-Marie, Nicole Andréa Mathys et Jaime de Melo. 2009. « Scale, Technique and Composition Effects in Manufacturing SO2 Emissions ». *Environmental and Resource Economics*, vol. 43, p. 257-274.

-----, 2010. « Unravelling the Worldwide Pollution Haven Effect ». *Journal of International Trade and Economic Development*, iFirst Article, p. 1-32.

Grossman, Gene, et Alan B. Krueger. 1993. « Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement ». In *The U.S.-Mexico free trade agreement*, sous la dir. de Peter M. Garber, p. 13- 56. Cambridge (Mass.): MIT Press.

Head, Keith, Thierry Mayer et John Ries. 2010. « The erosion of colonial trade linkages after independence ». *Journal of International Economics*, vol. 81, p. 1-14.

Heston, Alan, Robert Summers et Bettina Aten. 2002. *Penn World Table Version 6.1*. Center for International Comparisons at the University of Pennsylvania (CICUP).

Hettige, Hemamala, Paul Martin, Manjula Singh, et David Wheeler. 1995. *The Industrial Pollution Projection System*. World Bank Policy Research, Document de travail no 1431.

Jaffe, Adam B. , Steven R. Peterson, Paul R. Portney et Robert N. Stavins. 1995. « Environmental Regulation and the Competitiveness of U.S. Manufacturing: What Does the Evidence Tell Us? ». *Journal of Economic Literature*, vol. 33, no 1, p. 132-163.

Kahn, Matthew E. 1997. « Particulate Pollution Trends in the United States ». *Regional Science and Urban Economics*, vol. 27, no 1, p. 87-107.

-----, 2003. « The Geography of US Pollution Intensive Trade: Evidence from 1958 to 1994 ». *Regional Science and Urban Economics*, vol. 33, p. 383-400.

Kahn, Matthew E., et Yutaka Yoshino. 2004. « Testing for Pollution Havens inside and outside of Regional Trading Blocs ». *Advances in Economic Analysis and Policy*, vol. 4, no 2.

Kellenberg, Derek. K. 2009. « An Empirical Investigation of the Pollution Haven Effect with Strategic Environment and Trade Policy ». *Journal of International Economics*, vol. 78, p. 242-255.

Keller, Wolfgang, et Arik Levinson. 2002. « Pollution Abatement Costs and Foreign Direct Investment Inflows in the U.S. States ». *Review of Economics and Statistics*, vol. 84, no 4, p. 691-703.

Krugman, Paul. 1980. « Scale Economies, Product Differentiation, and the Pattern of Trade ». *American Economic Review*, vol. 70, no 5, p. 950-959.

Levinson, Arik. 1999. « State Taxes and Interstate Hazardous Waste Shipments ». *American Economic Review*, vol. 89, no 3, p. 666-677.

Levinson, Arik, et Scott Taylor. 2008. « Unmasking the Pollution Haven Effect ». *International Economic Review*, vol. 49, no 1, p. 223-254.

List, John A., W. Warren McHone, Daniel L. Millimet et Per G. Fredriksson. 2003. « Effects of Environmental Regulations on Manufacturing Plant Births: Evidence from a Propensity Score Matching Estimator ». *Review of Economics and Statistics*, vol. 85, no 4, p. 944-952.

Mayer, Thierry, et Soledad Zignago. 2011. *Note on CEPII's Distance Measures: The GeoDist Database*. Centre d'études prospectives et d'informations internationales, document de travail no 2011-25, Paris.

Porter, M. E., et C. van der Linde. 1995. « Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship ». *Journal of Economic Perspectives*, vol. 9, p. 97-118.

Stock, James H., et W. Watson. 2007. *Introduction to Econometrics*. Addison-Wesley Series in Economics, Pearson Education Inc.

Trefler, Daniel. 1993. « Trade Liberalization and the Theory of Endogenous Protection: An Econometric Study of US Import Policy ». *Journal of Political Economy*, vol. 101, no 1, p. 138-160.

Trotignon, Jérôme. 2011. « La restriction des émissions de CO2 pénalise-t-elle les exportations? Un modèle de gravité avec données de panel et variables muettes régionales ». *L'Actualité économique*, vol. 86, no 1, p. 5-33.

Xing, Yuqing, et Charles D. Kolstad. 2002. « Do Lax Environmental Regulations Attract Foreign Investment ». *Environmental and Resource Economics*, vol. 21, p. 1-22.